



## **TRABAJO FIN DE GRADO:**

Protecciones Eléctricas en DIgSILENT

PowerFactory:

Modelos de fabricantes españoles (I)

### **Autor:**

Víctor Manuel Rodríguez Ferrero

### **Tutora:**

Ana Morales

### **Fecha:**

15 Junio 2012



## **ÍNDICE**

1.	RESUMEN DEL PROYECTO .....	5
2.	INTRODUCCIÓN .....	6
3.	DIgSILENT PowerFactory .....	7
3.1.	CATEGORÍAS Y TIPOS DE BLOQUES .....	8
3.1.1.	Bloques destinados a la toma de medidas.....	9
3.1.2.	Bloques destinados al cálculo de parámetros eléctricos. ....	9
3.1.3.	Bloques de Decisión. ....	10
3.1.4.	Bloques de Intensidad: Relloc, RelToc, RelDir.....	11
3.1.5.	Bloques de Tensión: RelUlim, Relchar.....	13
3.1.6.	Bloques de frecuencia: RelFrq.....	15
3.1.7.	Bloques de Distancia: RelFdetsie, RelZpol, RelDispoly y Reldismho .....	16
3.1.8.	Bloques Diferenciales: RelBiasidiff .....	16
3.1.9.	Bloques de operación o bloques lógicos: RelLogic, RelLogdip. ....	17
3.2.	Subrelés .....	19
4.	RELÉ DE PROTECCIÓN DE ZIV .....	20
5.	MODELO DE RELÉ IRV .....	21
5.1.	SOBREINTENSIDAD .....	22
5.1.1.	SOBREINTENSIDAD INSTANTANEA.....	22
5.1.2.	SOBREINTENSIDAD TEMPORIZADA. ....	25
5.1.3.	SOBREINTENSIDAD DIRECCIONAL.....	28
5.2.	UNIDAD DE TENSIÓN.....	30
5.2.1.	SOBRETENSIÓN DE FASES.....	31
5.2.2.	SUBTENSIÓN DE FASES.....	32
5.2.3.	SOBRETENSIÓN DE NEUTRO .....	33
5.2.4.	SOBRETENSION DE SECUENCIA INVERSA.....	34
5.3.	UNIDAD DE FRECUENCIA.....	34
5.3.1.	SOBREFRECUENCIA .....	35
5.3.2.	SUBFRECUENCIA.....	36
5.3.3.	DERIVADA DE FRECUENCIA .....	36
5.4.	FALLO DE INTERRUPTOR .....	36
5.5.	UNIDAD DE DETECCIÓN DE INTENSIDAD RESIDUAL .....	38
5.6.	UNIDAD SALTO DE VECTOR.....	38
5.7.	UNIDAD DE IMAGEN TÉRMICA.....	41



## Trabajo Fin de Grado:

Protecciones Eléctricas en DIgSILENT PowerFactory  
Modelos de fabricantes españoles (I)

5.8.	UNIDAD DE IMAGEN TÉRMICA PUNTO CALIENTE (HOT SPOT) .....	42
5.9.	UNIDAD DE SOBRECARGA .....	43
5.10.	UNIDAD DE INTENSIDAD MÍNIMA .....	44
5.11.	UNIDAD DE FALTAS A TIERRA RESTRINGIDAS .....	45
5.12.	UNIDAD DE CARGA FRÍA.....	46
5.13.	SUPERVISION DE LAS MEDIDAS DE LAS INTENSIDADES .....	47
5.14.	REENGANCHADOR.....	48
5.15.	ESQUEMAS DE TELEPROTECCIÓN .....	50
6.	MODELO DE RELÉ ZLS.....	51
6.1.	UNIDAD DE DISTANCIA.....	51
6.1.1.	CARACTERÍSTICA MHO .....	51
6.1.2.	CARACTERÍSTICA DE REACTANCIA. ....	52
6.1.3.	IMPLEMENTACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA POLIGONAL.....	53
6.1.4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA MHO. ....	54
6.2.	FALLO DE FUSIBLE .....	55
6.3.	DETECTOR DE OSCILACIÓN DE POTENCIA.....	56
6.4.	UNIDAD DE TENSIÓN.....	57
6.5.	UNIDADES DE SOBREINTENSIDAD DIRECCIONAL.....	58
6.6.	UNIDAD DE IMAGEN TÉRMICA.....	59
6.7.	UNIDAD DE DETECCIÓN DE FALTA .....	61
6.8.	REENGANCHADOR.....	61
6.9.	ESQUEMAS DE TELEPROTECCION .....	62
7.	ENSAYO DE FUNCIONES .....	63
7.1.	ENSAYOS DE CORRIENTE .....	64
7.2.	ENSAYOS DE TENSIÓN .....	67
7.2.1.	ENSAYOS DE SOBRETENSIÓN .....	67
7.2.2.	ENSAYOS DE SUBTENSIÓN .....	68
7.3.	ENSAYOS DE FRECUENCIA. ....	69
7.3.1.	ENSAYO DE SOBREFRECUENCIA .....	69
7.3.2.	ENSAYO DE SUBFRECUENCIA .....	70
7.4.	ENSAYOS DE DISTANCIA MHO .....	71
7.5.	ENSAYOS DE DISTANCIA POLIGONAL.....	73
7.6.	ENSAYOS UNIDAD DIRECCIONAL.....	74
8.	STATIONWARE.....	76



## **Trabajo Fin de Grado:**

Protecciones Eléctricas en DIgSILENT PowerFactory

Modelos de fabricantes españoles (I)

---

9.	PRESUPUESTO .....	79
10.	CONCLUSIÓN .....	82
11.	REFERENCIAS .....	83
ANEXO 1: NUMEROS ANSI / ANSI DEVICE NUMBERS .....		84
ANEXO II: DIAGRAMAS DE BLOQUES EN DIgSILENT PowerFactory .....		87



## 1. RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto ha consistido en la implementación de dos familias de relés del fabricante español ZIV llamadas IRV y ZLS en el software de simulación DIgSILENT PowerFactory.

Al principio parecía una labor bastante complicada y compleja, sin embargo a base de tiempo y dedicación, esta dificultad fue desapareciendo.

En total han sido diez los relés implementados, siete de ellos pertenecientes al modelo IRV, en el cual las funciones predominantes, son las de protección de sobreintensidad, tanto temporizada como instantánea y direccional.

Los otros tres relés pertenecen a la familia ZLS, en el cual sus funciones características son las unidades de distancia, tanto con característica poligonal como de admitancia.

Cuando hablo de implementar, me refiero a tres fases: una primera fase es la de plasmar en un espacio de trabajo una serie de bloques que comuniquen unos con otros mediante señales de conexión para conseguir un objetivo específico (construcción de la estructura del relé).

La segunda fase comienza una vez acaba la primera: es la fase de adaptación, en la cual lo que se realiza es dotar a cada modelo de relé de los ajustes que proporciona el fabricante, para que actúe en el software tal y como tiene que actuar en el mundo real.

La tercera fase es la de pruebas: consiste en verificar todos los aspectos del relé ya implementado para comprobar su correcto funcionamiento. Esta fase ha sido la que más tiempo me ha llevado puesto que resolver dichas pruebas no satisfactorias no es una labor nada fácil.

Al implementar estos modelos con éxito se hizo una pequeña ampliación del alcance original del proyecto.

La fase de ampliación de este proyecto, ha consistido en agregar los modelos IRV al software StationWare también perteneciente al grupo DIgSILENT.



## 2. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado ha sido realizar la implementación en DIgSILENT PowerFactory de dos tipos de relés, correspondientes a los modelos IRV y ZLS del fabricante español ZIV. Los modelos se han implementado y se han realizado ensayos para validar y demostrar su correcta actuación.

Un **Relé** es un dispositivo de carácter electromecánico que basa su funcionamiento en la apertura de un interruptor, gobernado por medio de una bobina y un electroimán, los cuales accionan un juego de uno o varios contactores que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Una definición más coloquial vista en la asignatura de centrales eléctricas II se incluye aquí: “Un relé es un dispositivo inteligente destinado a vigilar por lo menos un elemento del sistema eléctrico, para detectar situaciones irregulares, en cuyo caso elaborará órdenes de disparo que permitan su eliminación o corrección”.

A continuación se da una breve descripción de los relés que han sido implementados en el marco de este trabajo:

- IRV [7] es la familia de relés de protección, control y medida utilizados para protección de sobrecorriente en líneas, transformadores, generadores y alimentadores en general. Adecuado para proteger elementos de la red de distribución.
- ZLS [8] es una familia de relés denominados de distancia. Su posicionamiento es en las redes de transporte de grandes longitudes. La utilización de estos relés de distancia nos permiten conocer las condiciones de explotación de la red, la posición aproximada de un cortocircuito, etc...

Para la elaboración de este proyecto fin de grado, los conocimientos previos con los que contaba eran los de haber cursado la asignatura de protecciones eléctricas y la realización de las prácticas de dicha asignatura con el software PowerFactory de DIgSILENT. En lo referente a documentación inicial contaba con las siguientes referencias:

- Manuales de las protecciones, obtenidos de la web del fabricante, en los cuales se encuentran las funciones que tiene cada tipo de relé, las magnitudes de operación, los ajustes... Los manuales pueden encontrarse en las referencias [7] y [8].
- Referencias técnicas de DIgSILENT PowerFactory [1, 2, 4, 5, 6, 16, 19], en las cuales se explica todo lo relevante a los bloques, nombres de las variables de entrada/salida, configuraciones, funciones, etc...

### 3. DIgSILENT PowerFactory

DigSILENT PowerFactory es el programa que el tutor ha requerido y propuesto para desarrollar el proyecto. Es un programa de simulación de Sistemas Eléctricos de Potencia programado hace más de 25 años sobre una base de datos que permite una mejor gestión de datos.

El programa integra muchas funciones de cálculo lo que permite reducir costes de formación de personal y de ejecución. El programa integra modelos adecuados para simular sistemas de generación convencional, grandes sistemas eléctricos y sistemas de última generación, como los sistemas de generación de fuentes de origen renovable o los sistemas de transmisión en corriente continua. El programa también puede integrarse con bases de datos existentes en las empresas, como los sistemas GIS, DMS y EMS.

A continuación, se muestra la estructura de un relé en el programa y se detalla la estructura de bloques que por defecto está definida en DiGSILENT PowerFactory para facilitar la programación e implementación de relés de protección.

ARGUS M. 7SR21;

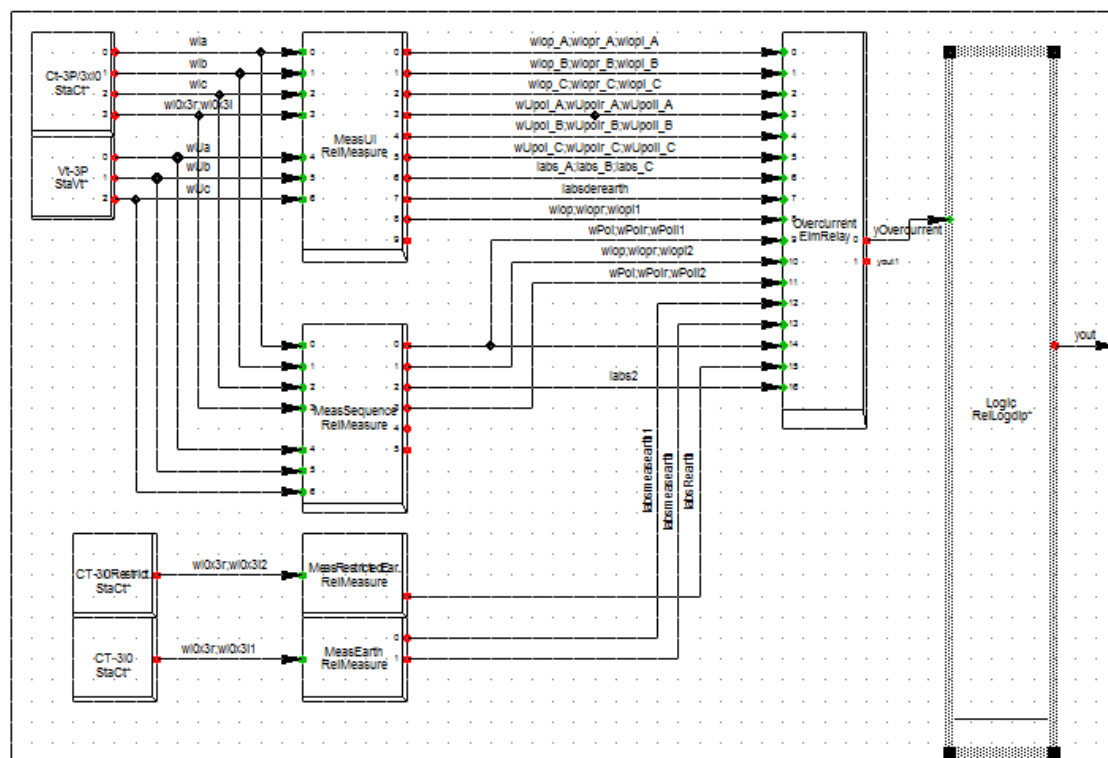


Figura1, Modelo de relé ARGUS M 7SR21 de DIgSILENT PowerFactory [1]

Los relés que implementaré tendrán una estructura parecida a la mostrada en la Figura 1. De esta figura podemos deducir que la manera de implementarlos será mediante la unión de bloques y líneas:



- En los bloques se realizan las operaciones, comparaciones y demás algoritmos. Existen diferentes tipos de bloques, según el tipo desempeñarán una función u otra.
- Las líneas representan las señales intercambiadas entre bloques, siempre de salida de un bloque a la entrada de otro.

### 3.1. CATEGORÍAS Y TIPOS DE BLOQUES

Según la clase del bloque o el tipo realizará una función determinada. Para poder explicarlos más detalladamente, les he clasificado en las siguientes siete categorías: toma de medidas, cálculo de parámetros eléctricos, decisión, temporización, reenganche, lógicos y subrelés.

A continuación citaré la denominación o clase de los bloques en el programa según su categoría.

❖ *TOMA DE MEDIDAS.*

- StaVT
- StaCT

❖ *CÁLCULO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS.*

- RelMeasure
- RelFmeas

❖ *DECISIÓN. (Intensidad, Tensión, Frecuencia, Distancia y Diferenciales)*

- INTENSIDAD.
  - RelIoc
  - RelToc
  - RelDir
- TENSIÓN
  - RelUlim
  - RelUchar
- FRECUENCIA
  - RelFrq
- DISTANCIA
  - RelFdetsie o RelFdetect
  - RelZpol
  - RelDisdir
  - RelDispoly
  - RelDismho





- DIFERENCIALES
  - RelBiasidiff
  
- ❖ TEMPORIZACIÓN
  - RelTimer
  
- ❖ REENGANCHE
  - RelRecl
  
- ❖ LÓGICOS
  - RelLogic
  - RelLogdip

### 3.1.1. Bloques destinados a la toma de medidas

Esta categoría está formada por los bloques *StaVt* y *StaCt*.

Como se puede ver en la Figura1, estos bloques están posicionados en el principio de la hoja de implementación del relé, y la diferencia más notable frente a otros bloques es la de no tener puntos de entrada (los puntos de entrada de los bloques se representan con un puntos verdes y las salidas mediante puntos rojos)

La misión de estos bloques es de tomar las medidas, que posteriormente se enviarán por las señales, a los demás bloques para que realicen sus correspondientes operaciones.

Estos bloques se relacionarán posteriormente con los transformadores de medida colocados en las celdas del elemento a proteger, por lo tanto, el bloque *StaVT* alojará un transformador de medida de tensión (TT) y *StaCT* alojará el transformador de medida de corriente (TI).

Las magnitudes que nos van a proporcionar en sus salidas son los valores de tensiones y/o corrientes en magnitudes reales e imaginarias (magnitudes fasoriales).

En un mismo relé podremos colocar tantos bloques de toma de medidas como sea necesario.

### 3.1.2. Bloques destinados al cálculo de parámetros eléctricos.

La labor de estos bloques es la de procesar los datos de los transformadores de medida de tensión y corriente y obtener magnitudes eléctricas adicionales. Como podemos ver en la Figura 1 siempre van junto a los de medida. El bloque realiza dos tareas:

- Modela un filtro pasa bajo

- Si lo requiere el relé calcula valores de tensión y corriente en delta y los valores de secuencia.

Como se ha citado anteriormente, los bloques *StaCT* y *StaVT*, nos proporcionarán por un lado, los valores fasoriales de las corrientes de cada fase y la intensidad homopolar (en el caso del TI), y por otro lado, los valores fasoriales de las tres tensiones en el caso del (TT). El bloque **RelMeasure**, tendrá la función de transformar estos valores fasoriales proporcionados por los TT's y TI's, en valores filtrados, además de obtener los demás parámetros de tensión y de corriente del sistema, como puede ser, tensión homopolar, tensión de secuencia inversa, intensidad de secuencia positiva...

Según el ajuste de configuración del que dotemos al bloque *Measure*, nos permitirá, determinar la magnitud de los valores que entrega en su salida, pudiendo ser: valores trifásicos, monofásicos, RMS...

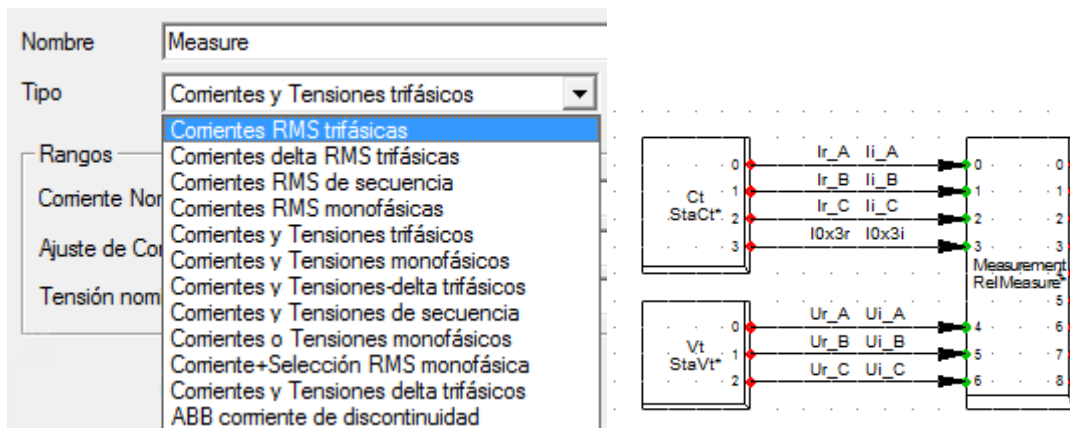


Figura 2: Modelo parcial de relé obtenida de DIGSILENT PowerFactory, relé IRV

En la Figura 2 podemos observar, a la izquierda [2], las diferentes configuraciones que se le pueden dar al bloque **RelMeasure** y a la derecha la conexión típica de los bloques de toma de medidas. En la parte superior de las líneas que conectan los bloques se puede observar las magnitudes que circulan por ellas.

El otro bloque de cálculo de parámetros es **RelFmeas**. Su funcionamiento sigue los mismos principios que el bloque RelMeasure. La diferencia es que el RelFmeas está destinado para medida de frecuencia a partir de la tensión medida. Hay que definir en este bloque la tensión mínima a partir de la cual el bloque no podrá medir correctamente la frecuencia.

### 3.1.3. Bloques de Decisión.



Estos bloques son el tercer paso para la elaboración de un relé. Se conectan a las señales que provienen del bloque RelMeasure y en el caso de medida de frecuencia, pueden ir conectaos a un bloque RelFmeas.

La misión de estos bloques es la de decisión. Se basan en unos algoritmos de comparación, es decir, lo que hacen es comparar los valores que reciben en su entrada frente a los valores de ajuste. Si dicho valor de entrada es diferente al del ajuste mandaran la señal actuación del relé (apertura del interruptor).

Estos bloques los he dividido según su operación, puede haber de cinco tipos: Intensidad, Tensión, Frecuencia, Distancia y Diferenciales.

#### 3.1.4. Bloques de Intensidad: RelIoc, RelToc, RelDir.

Nos sirven para comparar la corriente medida con su valor de ajuste. Su función puede ser de máxima intensidad (sobrecorriente) o de mínima intensidad (subcorriente).

Definición de los bloques de intensidad:

- **RelIoc** es un bloque de sobrecorriente instantánea, cuya misión es comparar la corriente que le llega a su entrada (corriente medida), con los ajustes de usuario. En el caso que la corriente medida difiera de la del ajuste, este bloque dará la orden de actuación de relé (actuación instantánea). Por defecto viene configurado como detección de máxima corriente. Para configurarlo como mínima corriente debemos de activar esta función en sus ajustes, y su funcionamiento será el inverso, (detectar corrientes por debajo de las ajustadas).
- **RelToc** al igual que el Ioc, está basado en la comparación de corrientes medidas frente a los ajustes de usuario. La diferencia entre ambos bloques es que la actuación no es de manera instantánea sino retrasada por una característica Corriente - Tiempo.

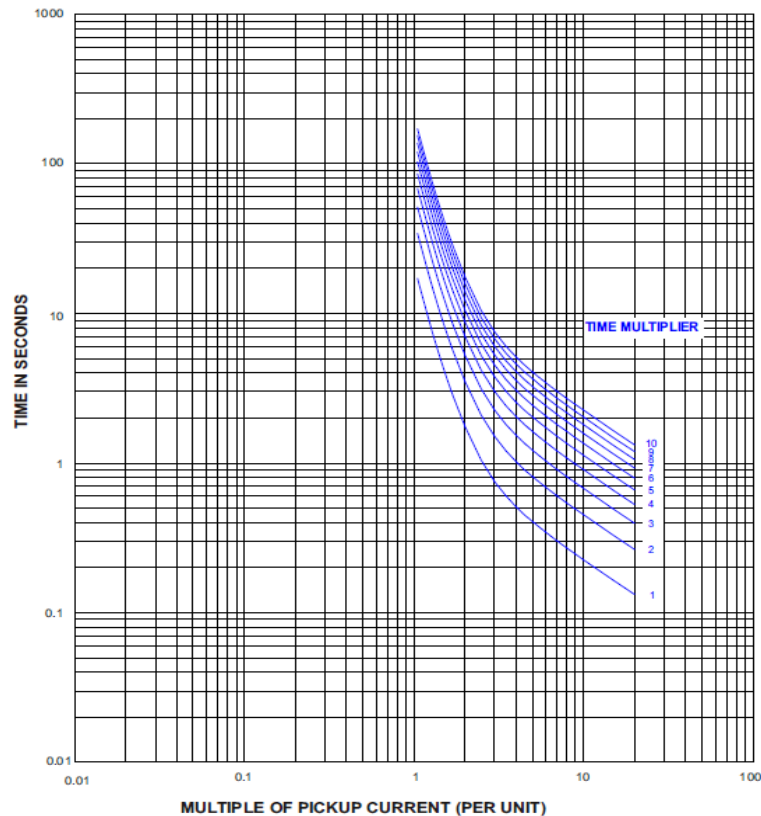


Figura3

Figura 3: Curva de tiempo inverso ANSI normalmente inversa [3]

En la Figura 3, se representa una característica (o curva) de actuación de la unidad temporizada con varios ajustes de multiplicador de tiempo. Como podemos observar de la Figura 3, a mayor corriente de cortocircuito, menor tiempo de disparo de la unidad.

- **RelDir:** También llamado direccional. Se utiliza para determinar el sentido del flujo de intensidad, indicando en la dirección en la que se produce este flujo (hacia adelante, hacia atrás). Por lo tanto la su misión será la de darnos el sentido de la intensidad en condiciones de cortocircuito.

Este bloque puede conectarse a uno de los dos citados anteriormente (Ioc o Toc).

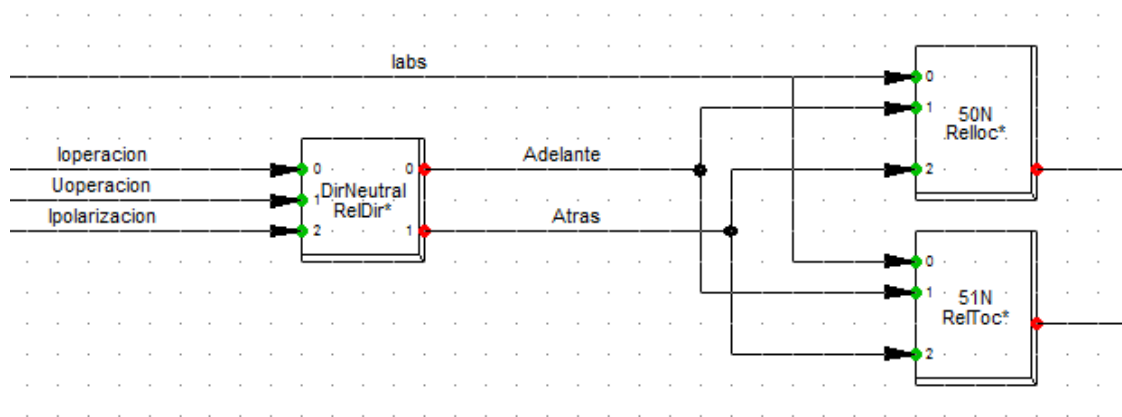


Figura 4, Unidad direccional de neutro en DIgSILENT PowerFactory

La Figura 4 es un ejemplo de bloque direccional en DIgSILENT PowerFactory, en donde aparece un bloque direccional de corriente de neutro, una unidad instantánea (RelIoc) y una unidad temporizada (RelToc).

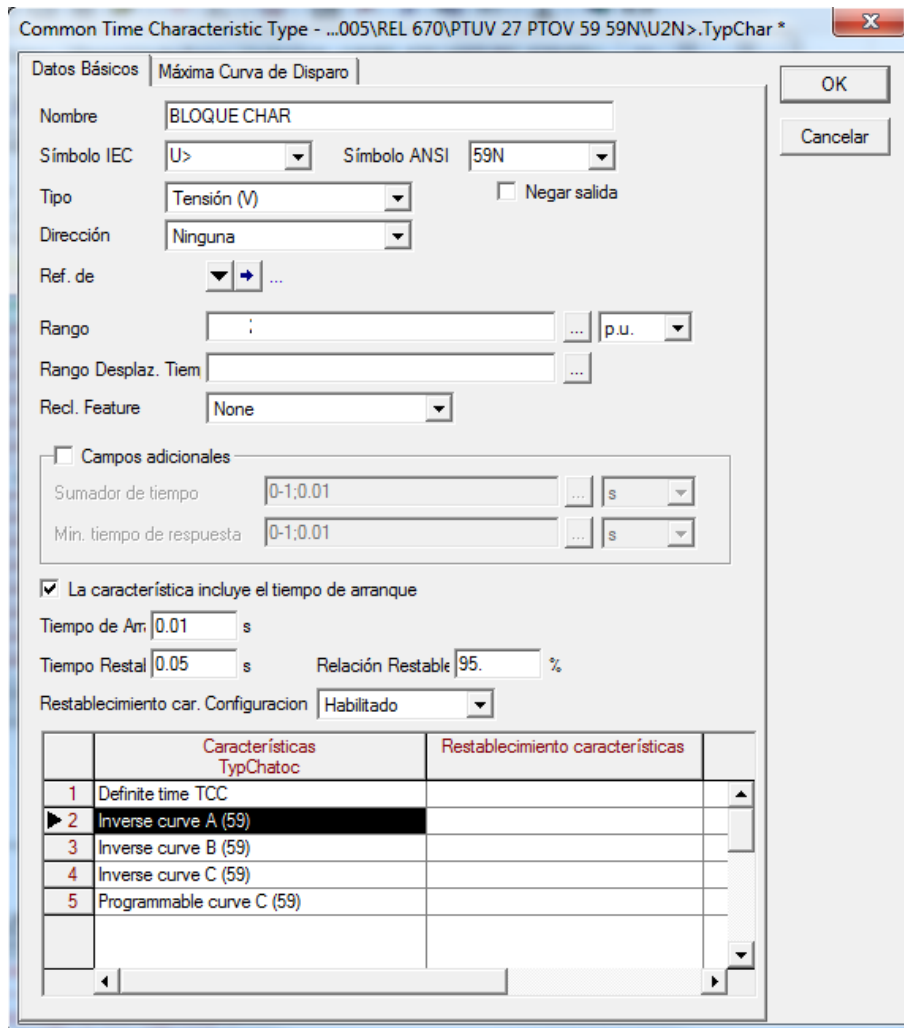
### 3.1.5. Bloques de Tensión: RelUlim, Relchar

Estos bloques se encargan de operar con la tensión. Su funcionamiento es análogo a los de intensidad, salvo que en esta ocasión la entrada serán voltajes en lugar de corrientes. Nos permitirán calcular tanto subtensiones como sobretensiones. Al igual que en los de corriente por defecto los bloques vienen configurados como actuación por sobretensión, por lo tanto si lo que deseamos es que actúen por subtensión debemos seleccionar en el ajuste de los bloques la opción de tensión mínima.

Tenemos dos tipos de bloques::

- **RelUlim:** Este tipo de bloques son semejantes a los instantáneos de corriente, su actuación será instantánea pero los valores a comparar serán los de las tensiones.
- **RelChar:** Semejantes a los temporizados de corriente, actuación no instantánea. El valor de tensión medida se compara con la tensión de ajuste dada por una característica en función del tiempo. Este bloque no funcionará si no se le dota de dicha característica o curva, siendo posible asignar más de una característica.

En la Figura 5 y Figura 5.1 se pueden observar los ajustes que debemos introducir a la hora de configurar estas unidades.



Common Time Characteristic Type - ...005\REL 670\PTUV 27 PTOV 59 59N\U2N>.TypChar \*

Datos Básicos | Máxima Curva de Disparo

Nombre: BLOQUE CHAR

Símbolo IEC: U> Símbolo ANSI: 59N

Tipo: Tensión (V) ☐ Negar salida

Dirección: Ninguna

Ref. de: ...

Rango: ; p.u.

Rango Desplaz. Tiem: ...

Recl. Feature: None

☐ Campos adicionales

Sumador de tiempo: 0-1;0.01 s

Min. tiempo de respuesta: 0-1;0.01 s

☒ La característica incluye el tiempo de arranque

Tiempo de Arr: 0.01 s

Tiempo Restal: 0.05 s Relación Restable: 95. %

Restablecimiento car. Configuración: Habilitado

	Características TypChatoc	Restablecimiento características	
1	Definite time TCC		
2	Inverse curve A (59)		
3	Inverse curve B (59)		
4	Inverse curve C (59)		
5	Programmable curve C (59)		

Figura 5: Modelo TypChar con las curvas características [4]

En la tabla inferior izquierda, es donde situaremos las características de las cuales queremos dotar al bloque RelChar.

Por defecto a la hora de crear un relé en una red de un proyecto, la característica seleccionada por defecto será la situada en la primera fila de la tabla.

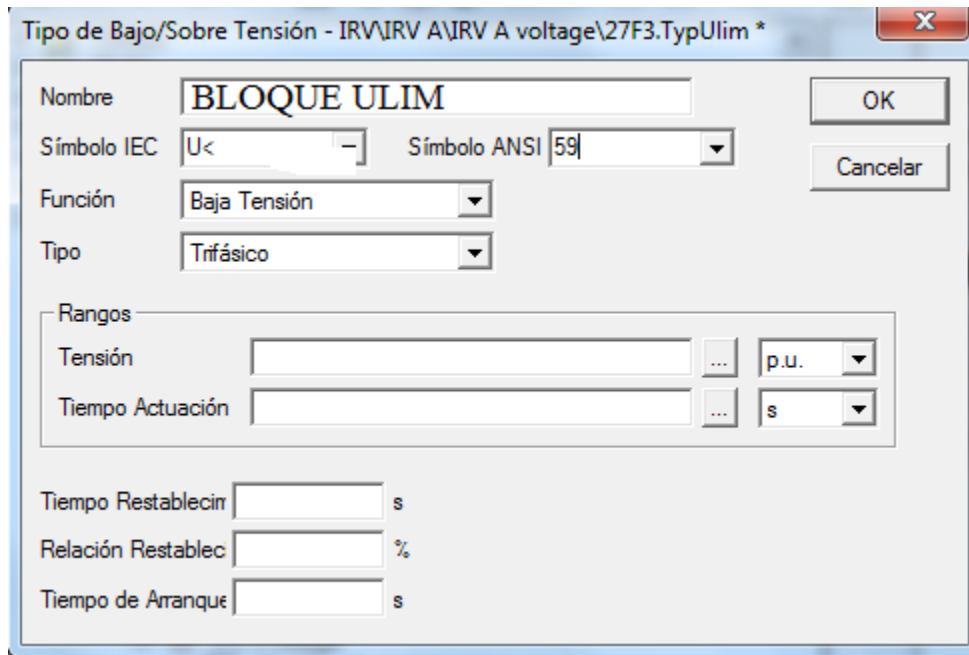


Figura 5.1: Modelo Ulim configurado para disparo por mínima tensión [5]

### 3.1.6. Bloques de frecuencia: RelFrq

- **RelFrq:** Estos bloques operan sólo con medida de frecuencia. Sirven para disparar si la frecuencia no cumple con las condiciones normales de operación. Tiene tres posibles modos de funcionamiento: instantáneo, gradiente o gradiente digital, como se puede observar en la Figura 6.

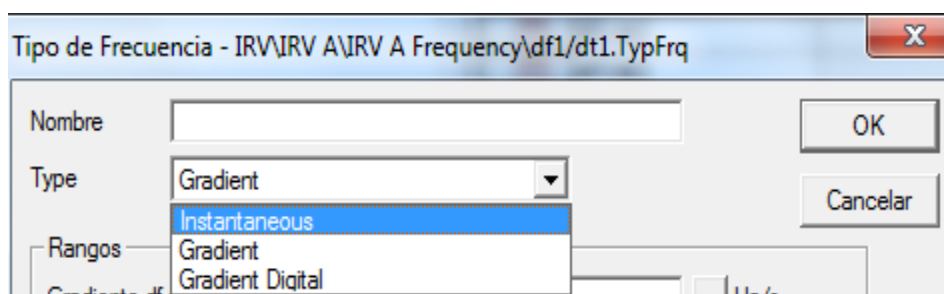


Figura 6. Configuración del Modelo RefFrq obtenida de DIgSILENT PowerFactory



### 3.1.7. Bloques de Distancia: RelFdetsie, RelZpol, RelDispoly y Reldismho

- **RelFdetsie:** Este bloque es específico de los relés de Siemens. Es una variante del modelo Reldetect y es considerado como elemento de arranque. Su misión es la de detectar la falta y arrancar el relé. Sus entradas van en función de la característica que sea utilizada para calcular distancia (en el modelo ZLS se acoplará este bloque a la características mho y poligonal).
- **RelZpol:** Este bloque es de gran importancia ya que nos dará las magnitudes de polarización y operación para la función de distancia. Va unido con los bloques RelMeasure y RelFdetsie (puede encontrarse conectado a dos bloques de medida, uno configurado como corrientes y tensiones trifásicas, y otro bloque delta del que salen las magnitudes de línea).

Lo que obtendremos a su salida serán las señales de operación y polarización de cada zona y las impedancias tanto fase-fase como las fase-tierra.

- **RelDisdir** Este bloque va ligado al bloque RelZpol. Recibe las entradas de polarización y operación. También se conecta al bloque Fdetect y la misión de éste es la de determinar la dirección de la falta, bien de cara al relé o de espaldas a él. Las salidas serán forward y reverse (este bloque es básico para las unidades de distancia que no son capaces de hallar direccionalidad).
- **RelDispoly:** Este bloque representa las características poligonales o de reactancia. Esta característica es una línea poligonal, por encima de la cual si se dan valores de impedancia es que se ha producido una falta en la red. Las entradas a este bloque son las magnitudes de polarización, operación y la de bloqueo. La salida del bloque es la señal lógica de disparo.
- **RelDismho:** Este bloque representa la característica Mho. Es una característica con forma de círculo desplazado del origen del plano R-X. Habrá tantos círculos como zonas definidas y según donde apunte la impedancia durante el cortocircuito, será la zona donde ve la falta.

### 3.1.8. Bloques Diferenciales: RelBiasidiff

**RelBiasidiff:** La misión de este bloque es la de comprobar si las intensidades entrantes a un transformador o elemento rama son iguales tanto la que ve a la izquierda del transformador o de entrada como la de la derecha o de salida. Para ello debe realizar una transformación para comparar ambas intensidades (dependerá de la relación de transformación de los TI's correspondientes).



Este bloque tiene cinco entradas y dos salidas. Dos de las cinco entradas corresponden a la corriente de uno de los lados ( una entrada es para la magnitud eficaz y la otra entrada para sus valores reales e imaginarios). Otras dos entradas pertenecen a la corriente del otro lado del transformador (una entrada para la intensidad en valor eficaz y la otra entrada para el valor fasorial).

Con estas cuatro entradas el bloque calcula un valor de intensidad diferencial que se obtiene por una de sus dos salidas. La intensidad diferencial se envía a la última entrada del bloque tras calcular con un bloque RelMeasure su valor eficaz. La quinta entrada corresponde a esta intensidad diferencial que acabo de mencionar. Los valores de entrada se comparan con el umbral diferencial para decidir que señales de disparo se emiten.

Las salidas de este bloque serán dos: por un lado la de actuación o no actuación y por otro lado la de la corriente diferencial.

En la Figura 7 se puede observar de forma más clara lo que acabo de comentar.

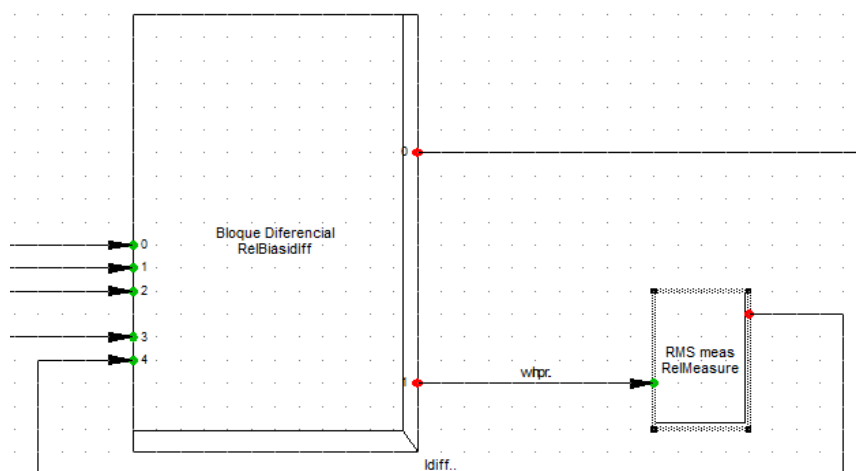


Figura 7. Estructura de los bloques de la unidad de protección diferencial.

### 3.1.9. Bloques de operación o bloques lógicos: RelLogic, RelLogdip.

**RelLogic:** La misión de este tipo de bloques es de implementar la lógica final de disparo del relé mediante puertas OR, AND, NOR y NAND. En la Figura 8 observamos como son estos bloques.

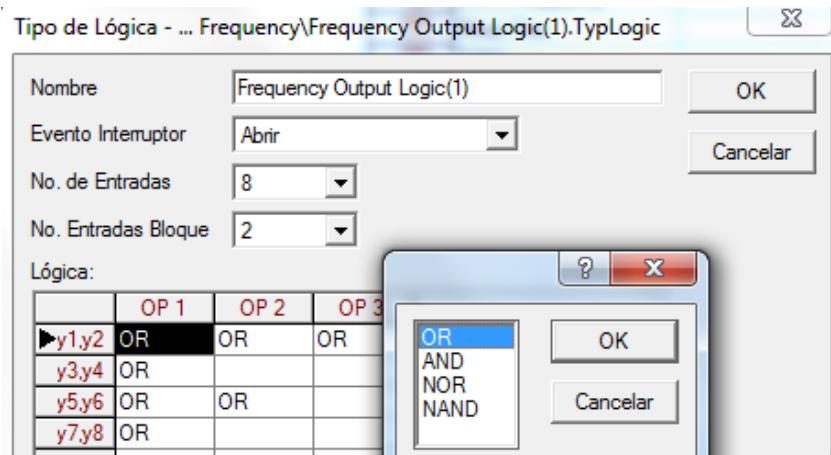


Figura 8: Modelo de bloque lógico. [6]

**RelLogdip:** Este tipo de bloques además de realizar las mismas funciones de puertas lógicas que el anterior, nos va a permitir implementar lógicas más complejas que podemos definir de forma flexible mediante líneas de código.

A modo de ejemplo, se detalla la forma de obtener la potencia activa. Como ya se indicó anteriormente con los transformadores de medida se pueden obtener las intensidades y voltajes. Para obtener la potencia lo que se debe hacer es introducir en este bloque las señales de corriente y tensión, junto con la intensidad nominal y tensión nominal. Una vez que se han direccionado correctamente, introducimos la fórmula de cálculo de potencia siguiente:

$$P = (I_r\_A * U_r\_A + I_i\_A * U_i\_A + I_r\_B * U_r\_B + I_i\_B * U_i\_B + I_r\_C * U_r\_C + I_i\_C * U_i\_C) / (3 * U_{nom} * I_{nom})$$

La única señal a la salida del bloque será la potencia calculada a partir de la ecuación introducida.

En la Figura 9 se puede observar lo que he citado anteriormente.

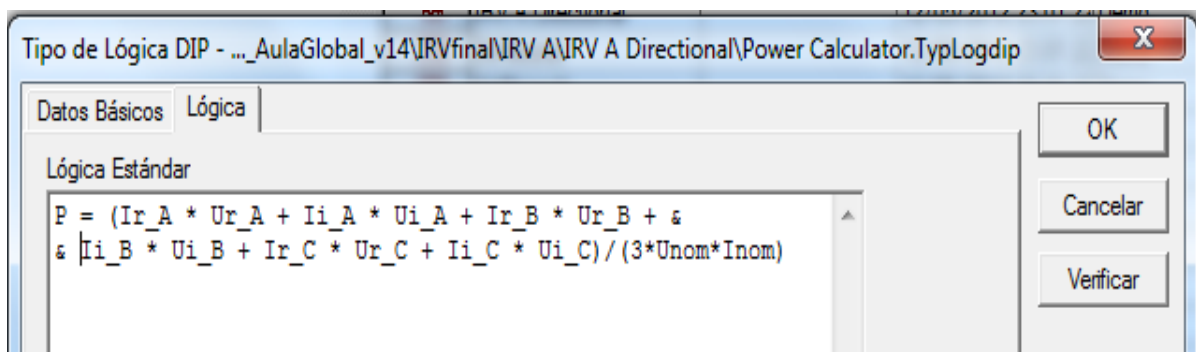


Figura 9. Cálculo de P mediante bloque lógico, obtenido de DIgSILENT PowerFactory.

### 3.2. Subrelés

- **ElmRelay**: El relé se construye en DIgSILENT PowerFactory a partir de un diagrama de bloques denominado FRAME. El Frame está compuesto de SLOTS o BLOQUES que alojan los elementos que se han presentado en capítulos anteriores. A la hora de implementar relés multifunción, es posible alojar en estos bloques SUBRELÉS. Los subrelés implementan funciones específicas, por ejemplo aquellas relacionadas con medida de frecuencia, relacionadas con medida de tensión, etc.

Las ventajas de usar estos bloques que hacen referencia a subrelés son:

- Una estructura más descongestionada del diagrama de bloques principal o FRAME, evitando así un caos de líneas y bloques.
- Mayor control: Se suelen crear subrelés agrupando bloques con las mismas funciones. Son más fáciles de manejar por el usuario. Por ejemplo, si un usuario quiere desactivar una función de mínima tensión, tendría que acceder al subrelé tensión y ahí buscar la unidad que quiere deshabilitar.
- Mantenimiento del modelo: Si el fabricante actualiza un relé de su colección y añade tres unidades más de sobrecorriente, habría que ir al subrelé de intensidad y crear tres nuevos bloques que emulen esas funciones nuevas.

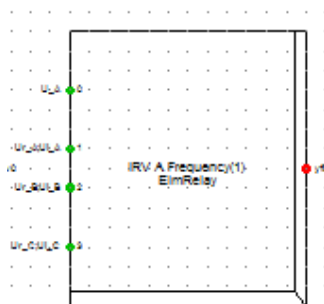


Figura 10: Subrelé extraído del modelo de relé implementado (Modelo IRV).



## 4. RELÉS DE PROTECCIÓN DE ZIV

Como se ha comentado anteriormente, dos familias de relés del fabricante ZIV se han considerado para este trabajo: IRV y ZLS.

Los relés de este fabricante están identificados por familias (por ejemplo familia ZLS, función: distancia). Dentro de cada familia hay varios tipos que define el fabricante con los que se distingue una funcionalidad específica para un tipo que lo diferencia de otro tipo de la misma familia. Por ejemplo, dentro de la familia de relés de distancia ZLS, si sólo se desea proteger un elemento frente a faltas monofásicas, entonces se debe seleccionar el ZLS I.

En la Figura 11 podemos ver la hoja de selección de modelo del fabricante ZIV.

	MODEL											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

Figura 11: Plantilla de selección de modelo [10]

En donde cada casilla corresponde a:

- |                          |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1. Tipo de montaje.      | 7. Puertos de comunicación.    |
| 2. Tipo.                 | 8. Entradas/Salidas.           |
| 3. Opciones.             | 9. Reserva                     |
| 4. Opciones de hardware. | 10. Tipo de caja.              |
| 5. Tensión Auxiliar.     | 11. Protocolo de comunicación. |
| 6. Entradas Digitales.   | 12. Acabado Final.             |

MODEL. Modelo de Relé.

La casilla dos corresponde al tipo, es decir el nombre dado por el fabricante según las funciones que tenga el relé y es lo que hemos empleado como referencia a la hora de implementar ambos relés en el software:

- ZLS formado por tres tipos: I / J / L
- IRV formado por ocho tipos: A / B / C / D / G / H / K.



## 5. MODELO DE RELÉ IRV

El modelo IRV es un relé de protección, control y medida, habitualmente usado en redes de distribución como elemento protector de líneas, transformadores y generadores. Está formado por siete tipos *A, B, C, D, G, H* y *K*.

En las siguientes tablas se muestran las funciones de cada modelo de relé que se han implementado en el software DIgSILENT PowerFactory. Se indican las funciones mediante la codificación internacional ANSI (ver ANEXO I para consultar el significado).

### **SOBREINTENSIDAD INSTANTANEA**

	50F1	50F2	50F3	50N1	50N2	50N3	50NS	50Q1	50Q2	50Q3
IRV A	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
IRV B	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
IRV C	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗
IRV D	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗
IRV G	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
IRV H	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IRV K	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

### **SOBREINTENSIDAD TEMPORIZADA**

	51F1	51F2	51F3	51N1	51N2	51N3	50NS	51Q1	51Q2	51Q3	51V
IRV A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IRV B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IRV C	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
IRV D	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IRV G	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
IRV H	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IRV K	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

### **Direccionalidad Tensión y Frecuencia**



**Trabajo Fin de Grado:**  
Protecciones Eléctricas en DIgSILENT PowerFactory  
Modelos de fabricantes españoles (I)

	3x67F	67N	67NS	67Q	67Na/Nc	59N	47	3x27F	3x59F	4x81M	4x81m	4x81D
IRV A	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IRV B	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IRV C	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IRV D	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IRV G	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IRV H	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IRV K	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

### Otras Funciones

	50BF	61	78	49	50/51OL	2x27	87N	60CT	79	SCHEME
IRV A	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✗
IRV B	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗
IRV C	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗
IRV D	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓
IRV G	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✓
IRV H	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
IRV K	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗

A continuación se describen las funciones con detalle así como su implementación en el software DIgSILENT PowerFactory.

#### 5.1. SOBREINTENSIDAD

Esta función está basada en la actuación por la intensidad que atraviesa el relé. Puede ser de dos tipos:

- Instantánea: Disparo inmediato cuando la magnitud medida supera el valor del ajuste dado.
- Temporizada: Disparo retardado en función de la sobreintensidad y el tiempo acorde a unas curvas características.

##### 5.1.1. SOBREINTENSIDAD INSTANTANEA

Todos los relés IRV disponen de unidades de sobreintensidad instantánea {50}. Dentro de esta unidad instantánea, nos encontramos diferentes tipos como son:

- Instantánea de fase. {50F}
- Instantánea de neutro. {50N}
- Instantánea de neutro sensible. {50NS}
- Instantánea de secuencia inversa. {50Q}



Cada tipo de estas unidades opera con lo que nos indica su nomenclatura, es decir, la {50F} actúa mediante la medición de la corriente de fase, la {50N} basa su actuación en la medida que recibe de corriente homopolar y así consecutivamente.

Alguno de los modelos IRV disponen de unidad de sobreintensidad de neutro y neutro sensible. La corriente de neutro la obtenemos a partir de un TI trifásico y también es llamada intensidad homopolar ( $I_0$ ). La corriente de neutro sensible, también es denominada  $I_0$ , pero la diferencia consiste en que para medirla usamos un TI monofásico.

Según el modelo, se dispone de las funciones siguientes:

- Modelos IRV A y B: 50F1/50F2, 50N1/50N2, 50NS, 50Q1/50Q2.
- Modelo IRV C: 50F1/50F2, 50Q1/50Q2
- Modelos IRV D, H y K: 50F1/50F2/50F3, 50N1/50N2/50N3, 50NS, 50Q1/50Q2/50Q3.
- Modelo IRV G: 50F1/50F2/50F3, 50N1/50N2/50N3, 50Q1/50Q2/50Q3.

A continuación se describe la implementación del modelo de esta función en el software DIgSILENT PowerFactory. Se realizará la implementación mediante un bloque de tipo RelIoc, bloques de medida y bloques lógicos. El total de relés implementados de esta familia es de siete, pero para evitar repetición, se incluye en esta descripción sólo uno de ellos. Se detalla la implementación del modelo D, por ser el más completo. A partir del IRV D se podrían obtener los demás modelos, eliminando los bloques que representan las funciones que los otros modelos no contienen.

Para ello lo primero que se ha hecho, ha sido crear los elementos para la toma de medidas: uno para obtener las corrientes y tensiones trifásicas y otro para obtener las medidas de secuencia.

El primer elemento de medida (elemento de medida principal) está conectado a un TI trifásico (bloque StaCT) de donde se obtienen las medidas de los fasores de corriente  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_0$ , y un TT (bloque VT) de donde se obtienen las medidas (parte real e imaginaria) de las tensiones de las tres fases  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$ .

El segundo elemento de medida (elemento de medida de secuencia) está conectado al TT trifásico anteriormente citado y a un TI monofásico, pero esta vez en vez de obtener los valores de las intensidades de cada fase, se obtienen los valores reales e imaginarios de la corriente de secuencia inversa, también llamada negativa.

Se ha creado un subrelé llamado “CURRENT” donde se alojan estas unidades.

**50F1/F2/F3** → Se utiliza un bloque RelIoc por cada unidad cada uno con una única entrada y salida. Las corrientes de la fase A, B, C se conectan a la entrada mediante una señal desde el elemento de medida principal hasta este bloque. El nombre que reciben estas corrientes en PowerFactory es I\_A, I\_B y I\_C. La salida se conecta a un bloque lógico desde donde se emite la señal de disparo.

**50N1/N2/N3** → Se implementa igual que el anterior. La única diferencia es que en lugar de a las corrientes de fases, la entrada se conecta a la corriente homopolar denominada I0x3 (obtenida del elemento de medida principal). La salida se conecta al mismo bloque lógico que las señales de los bloques de fases.

**50NS** → Para la implementación de neutro sensible, se conecta la entrada a la corriente homopolar medida del elemento de medida de secuencia.

**50Q1/50Q2/50Q3** → Unidades basadas en la intensidad de secuencia inversa. La entrada de cada bloque RelIoc se conecta a la corriente I2. Esta corriente, la obtenemos del elemento de medida de secuencia. La salida se conecta al bloque lógico, junto con las señales de los demás bloques.

El bloque lógico al que se conectan todas las salidas de los bloques RelIoc, es un bloque configurado con puertas lógicas or, ya que la función que tiene es dejar pasar la señal que esté activa de valor uno y producir el disparo del interruptor asociado al relé.

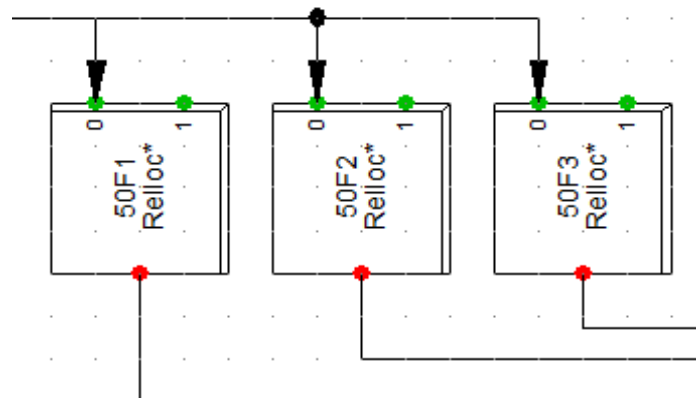


Figura 12. Sobreintensidad de fases {50F1}{50F2}{50F3}

En la Figura 12 se pueden observar los tres bloques de fase 50F1, 50F2 y 50F3, con las señales de corriente conectadas a la primera entrada y la segunda entrada libre. La segunda entrada está dedicada a la función reenganchador que en este ejemplo no se conecta.





### 5.1.2. SOBREINTESIDAD TEMPORIZADA.

A diferencia de la unidad anteriormente citada, en esta unidad el disparo ya no es instantáneo. Una vez que esta unidad temporizada detecte un valor de corriente medida por encima de su valor ajustado, se activa la unidad y la orden de disparo se dará acorde a una característica seleccionable. El fabricante dotará de una serie de características para que el usuario seleccione la que más le convenga según los tiempos que desee de disparo.

Estas características temporizadas se han definido mediante estándares internacionales y nacionales de tres tipos: IEC, IEEE, ANSI. Dentro de cada tipo nos encontramos con las siguientes curvas:

- **Curvas IEC** (*Comisión Electrotécnica Internacional*)
  - Curva inversa.
  - Curva muy inversa.
  - Curva extremadamente inversa.
  - Curva inversa de tiempo largo.
  - Curva inversa de tiempo corto.
- **Curvas IEEE** (*Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos – Estados Unidos*)
  - Curva moderadamente inversa.
  - Curva muy inversa.
  - Curva extremadamente inversa.
- **Curvas ANSI** (*Instituto Nacional de Estándares Americano*)
  - Curva moderadamente inversa.
  - Curva inversa.
  - Curva muy inversa.
  - Curva extremadamente inversa.
  - Curva inversa de tiempo corto.

Además de estas características también tenemos la curva característica **RI inversa [11]**, propia de la coordinación de relés electromecánicos.

El fabricante ZIV permite al usuario la selección de un umbral de tiempo para cada característica, que en el manual recibe el nombre de *característica + límite de tiempo*. Por lo tanto cada una de estas unidades cuenta con las características definidas y con las ajustables, lo que hace un total de veintiocho características seleccionables.

Esta unidad de intensidad temporizada del modelo IRV, está disponible para las siguientes unidades:



### Trabajo Fin de Grado:

Protecciones Eléctricas en DIgSILENT PowerFactory  
Modelos de fabricantes españoles (I)

- Temporizada de Fases. {51F}
- Temporizada de Neutro. {51N}
- Temporizada de Neutro Sensible. {51NS}
- Temporizada de Secuencia Inversa. {51Q}
- Temporizada de Fases dependiente de la Tensión. {51V}

El principio de funcionamiento de las cuatro primeras es el mismo que para la función de sobreintensidad instantánea, sin embargo, la unidad {51V} tiene un grado más de complejidad. El funcionamiento de la unidad de sobreintensidad de fases dependiente de la tensión, al igual que las otras unidades es de sobreintensidad ligada a un elemento de tensión. Este elemento permite su actuación en condiciones de corrientes de falta que estén por debajo de la intensidad de carga máxima, situación en la cual las unidades de sobreintensidad no actúan, pero ésta {51V} sí que lo hará.

Unidades disponibles según modelo:

- Modelos IRV A, B, D, H y K: 51F1/51F2/51F3, 50N1/50N2/51N3, 51NS, 51Q1/51Q2/51Q3, 51V.
- Modelo IRV C: 51F1/51F2/51F3, 51Q1/51Q2/51Q3, 51V.
- Models IRV G: 51F1/51F2/51F3, 51N1/51N2/51N3, 51Q1/51Q2/51Q3, 51V.

A continuación se detalla la implementación en el software DIgSILENT PowerFactory del modelo IRV A, por ser el más complejo. En esta ocasión el tipo de bloque usado es el RelToc.

**51 F1/F2/F3/N1/N2/N3/NS7Q1/50Q2/50Q3** → Para implementar estas unidades lo que se ha creado es un bloque RelToc por cada unidad a implementar. Estas unidades se sitúan en el mismo subrelé (Current) utilizado para alojar las unidades instantáneas.

Cada bloque está dotado de una entrada y una salida. Las entradas se conectan a las mismas señales que los elementos de sobrecorriente instantánea, por ejemplo, para el {51F1} la misma entrada que para el {50F1}. Las señales de salida se conectan al mismo bloque lógico que las unidades instantáneas.

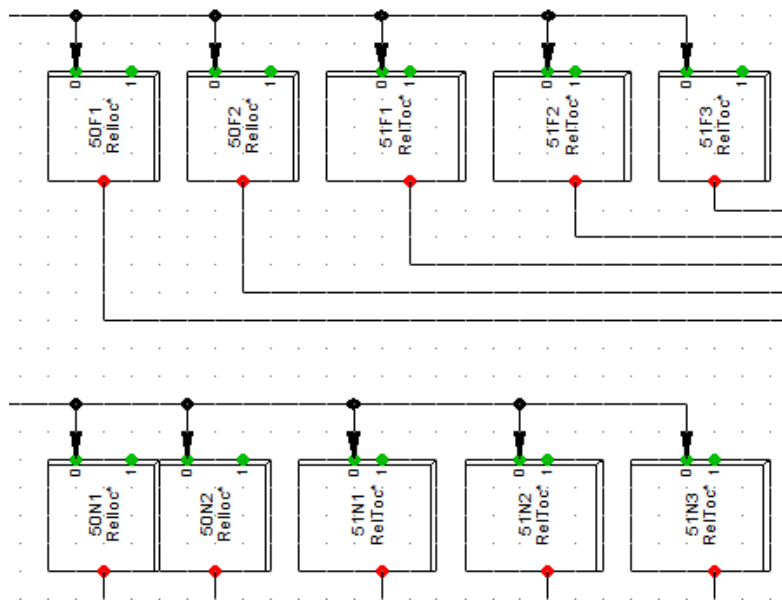


Figura13 Unidades instantáneas y temporizadas de fases y neutro

En la Figura 13 se puede observar como la misma señal conectada a la entrada de la unidad {50} es utilizada para conectar la unidad {51}.

**51V** → Sobreintensidad de fases dependiente de la tensión. Para implementar este bloque aparte de crear un RelToc se debe de crear un bloque de actuación por tensión. No es posible emplear el bloque denominado Ulim porque se obtiene una señal de tensión, así que se ha implementado mediante un bloque RelLogic. Se ha implementado un algoritmo para obtener la dependencia de la corriente con respecto a la tensión.

Las entradas del bloque RelLogic serán los valores eficaces de tensión y corriente de las tres fases así como la tensión nominal. La salida de este bloque se conecta con la unidad de sobrecorriente. El algoritmo implementado se muestra en la Figura 14.

```

Datos Básicos  Lógica
Lógica Estándar
VrestraintON = 1
y1 = 0.25 + 0.75 * (U_A/Unom - 0.25) / 0.75
y2 = min(1, y1)
y3 = max(0.25, y2)
yI_A = I_A / y3
y4 = 0.25 + 0.75 * (U_B/Unom - 0.25) / 0.75
y5 = min(1, y4)
y6 = max(0.25, y5)
yI_B = I_B / y6
y7 = 0.25 + 0.75 * (U_C/Unom - 0.25) / 0.75

```

Figura 14

Se muestra en la Figura 15 la conexión de bloques en DIgSILENT PowerFactory.

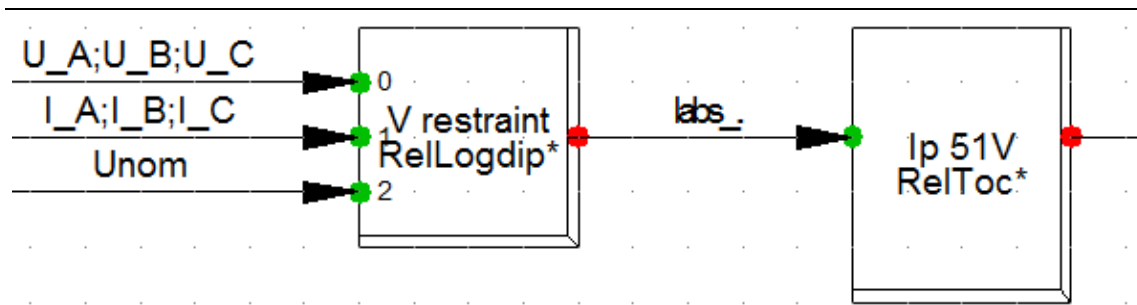


Figura 15

### 5.1.3. SOBREINTENSIDAD DIRECCIONAL

La unidad direccional se emplea para determinar el sentido de la corriente, es decir en caso de que se produzca una sobreintensidad indica si ésta se ha producido de frente al relé o de espaldas a él.

El funcionamiento de esta unidad se basa en la comparación de su fase con una magnitud de referencia, cuya fase se mantiene con independencia de la dirección del flujo de la intensidad de operación.

Las unidades direccionales de los dispositivos IRV van acompañadas siempre de una unidad instantánea y una temporizada. Este tipo de relé puede llevar las siguientes unidades direccionales:

- Direccional de Fases {67F}
- Direccional de Neutro {67N}
- Direccional de Neutro Sensible {67NS}
- Direccional Secuencia Inversa {67Q}
- Direccional Secuencia Directa {67P}
- Direccional de Neutro Aislado {67INa}
- Direccional de Neutro Compensado {67Nc}

**Direccional de Fases:** Una direccional por cada fase. La fase A opera con la corriente  $I_A$ , su polarización es mediante la tensión  $U_{BC}$ . La fase B opera con la corriente  $I_B$  y se polariza con la tensión  $U_{CA}$ . Finalmente la fase C opera con la corriente  $I_C$  y se polariza con la tensión  $U_{AB}$ .

**Direccional de Neutro:** Las direccionales de neutro están basadas en tomar como magnitud de operación la corriente homopolar y polarizar por tensión homopolar.

**Direccional de Neutro Sensible:** Igual que las de neutro, operan con la corriente homopolar de neutro sensible  $I_0$  y se polarizan sólo por tensión homopolar



**Direccional de Secuencia Inversa:** Operación con la corriente de secuencia inversa  $I_2$  y polarización mediante la tensión de secuencia inversa  $U_2$ .

**Direccional de Secuencia Directa:** Mismos principios que la de secuencia inversa pero las magnitudes medidas son de secuencia directa es decir  $I_1$  y  $U_1$ .

Unidades según modelo.

- Modelos IRV A, B, y K: 3x67F, 67N, 67NS.
- Modelo IRV C: 67Na.
- Modelo IRV D y H: 3x67F, 67N, 67NS, 67Q.
- Modelo IRV G: 3x67F, 67N, 67Nc, 67Na, 67Q.

Para implementar las unidades direccionales en el software DIgSILENT PowerFactory se emplea el bloque RelDir, acompañándolo de un RelToc (temporizado) y un RelIoc (instantáneo) debido a que el fabricante nos especifica que cada unidad direccional funciona con una unidad temporizada y una unidad instantánea.

**67F→** Se requiere un bloque direccional por fase. El bloque direccional de fases tiene cuatro entradas, dos de entrada de las magnitudes de operación y otras dos para las de polarización. Por ejemplo, la unidad direccional de Fase A se conecta:

- La primera entrada a la corriente en valor eficaz de la Fase A ( $I_A$ ), obtenida del elemento de medida principal.
- En segundo lugar se conectan la parte real e imaginaria de la corriente de la Fase A ( $I_i$ ,  $I_r$ ), también obtenidas del elemento de medida principal.
- La tercera entrada se conecta a la tensión de polarización, la tensión de línea  $U_{BC}$  en valor eficaz ( $U_B$ ). Esta medida de tensión se obtiene de un elemento de medida adicional creado para esta función, con tensiones y corrientes delta calculadas a partir de un TT y TI trifásicos, lo que nos permite obtener las magnitudes de línea.
- La cuarta entrada se conecta a la misma tensión de línea pero esta vez en parte real e imaginaria ( $U_{Bi}$ ,  $U_{Br}$ ), obtenida del elemento de medida adicional.

El bloque que implementa la unidad direccional proporciona dos señales de salida que se conectan a las entradas de los bloques de sobreintensidad instantánea y temporizada. Estas dos salidas se denominan *Forward* y *Reverse*, lo que indica a la unidad de sobrecorriente la dirección de la falta, hacia delante del relé o hacia atrás.

En la Figura 16 se muestra un ejemplo de la implementación de la unidad direccional de la Fase A, donde se pueden ver los bloques direccional (RelDir), instantáneo (RelIoc) y temporizado (RelToc).

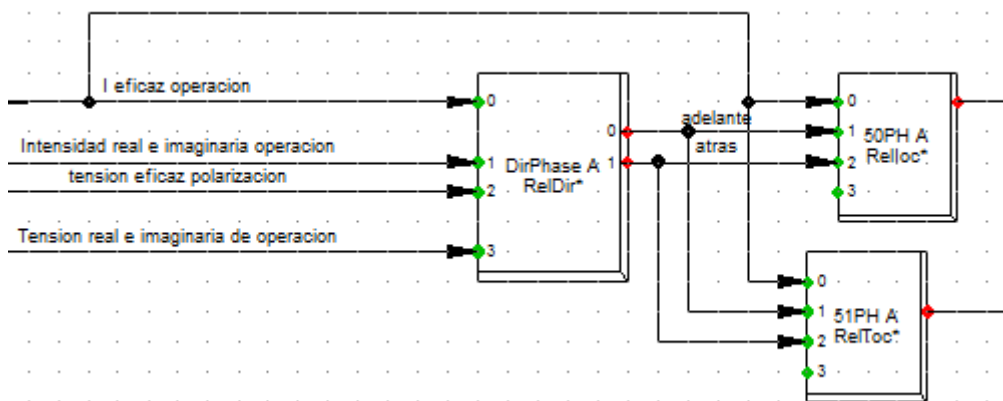


Figura 16: Implementación en DIGSILENT PowerFactory de las unidades direccionales

**67N**→ La unidad de neutro posee dos entradas. La primera entrada se conecta a la magnitud de operación, es decir a la intensidad homopolar. La segunda entrada se conecta a la magnitud de polarización, es decir a la tensión homopolar.

Las salidas se implementan de la misma forma que para el direccional de fases.

**67NS/Q**→ Su implementación se hace de manera similar a los anteriores bloques, cambiando las entradas de polarización y operación por las suyas correspondientes. Las medidas de neutro sensible se toman del elemento de medida de secuencia. Las medidas de secuencia negativa de corriente se obtienen del elemento de secuencia, así como la tensión de secuencia negativa.

## 5.2. UNIDAD DE TENSIÓN

Los relés que tienen unidades de protección ante variaciones de tensión tienen un funcionamiento análogo al de intensidad pero con voltajes, es decir, su funcionamiento está basado en la comparación de medida de tensión del relé conectado a la red con su valor de ajuste. Si detecta un valor de tensión por encima del de su ajuste de alta tensión, en condiciones normales tiene que actuar por sobretensión, entendiéndose por condiciones normales que el relé funcione perfectamente. Si por el contrario el nivel que detecta es inferior al de su ajuste de baja tensión su actuación se producirá por mínima tensión.

Hay dos tipos de protección de sub/sobretensión: de disparo instantáneo o disparo temporizado, que se han implementado mediante dos bloques RelUlim o RelChar respectivamente.

En los modelos IRV todas las unidades de tensión son instantáneas. Funcionan sin características de temporización. Esta familia de relés está dotada con las siguientes unidades de tensión:



- Sobretensión de Fases {59F}
- Subtensión de Fases{27F}
- Sobretensión de Neutro {59N / 64}
- Sobretensión de Secuencia Inversa {47}

Esta unidad es común para todos los tipos de relés dentro de la familia IRV:

- Modelos IRV: A, B, C, D, G, H y K: 3x59F, 3x27F, 59N, 47.

### **5.2.1. SOBRETENSIÓN DE FASES**

Todos los modelos IRV llevan tres unidades de sobretensión de fases capaces de detectar las sobretensiones Fase-Tierra o bien las de Fase-Fase. La unidad arrancará cuando los valores de tensiones eficaces medidas alcancen un determinado valor ajustable por el usuario.

Para la implementación de estas unidades en el software DIgSILENT PowerFactory se ha creado un nuevo subrelé llamado voltaje, en el cual irán todas las unidades de tensión: {59F}, {27F}, {59N} y {47}.

La forma de implementar esta función es mediante un bloque RelUlim. La unidad puede trabajar con los valores de tensión Fase-Fase o con los valores de Fase-Tierra, por lo que es necesario un elemento de selección para el usuario del tipo de operación que desea realizar. Para poder implementar esta selección se ha empleado un bloque lógico.

Las dos entradas del bloque lógico se conectan a las medidas de Fase-Fase en primer lugar y a las de Fase-Tierra en segundo lugar. Las medidas de Fase-Tierra las obtenemos del elemento de medida principal (configurado como corrientes y tensiones trifásicas), y las de Fase-Fase del elemento de medida delta (configurado como tensiones y corriente delta).

El algoritmo implementado en el bloque lógico se muestra en la Figura 17 siguiente, y se basa en dos parámetros:

- VPHPH: cuando este parámetro vale 1 se seleccionan las medidas Fase-Fase.
- VPHE: cuando este parámetro vale 1 se seleccionan las medidas Fase-Tierra.

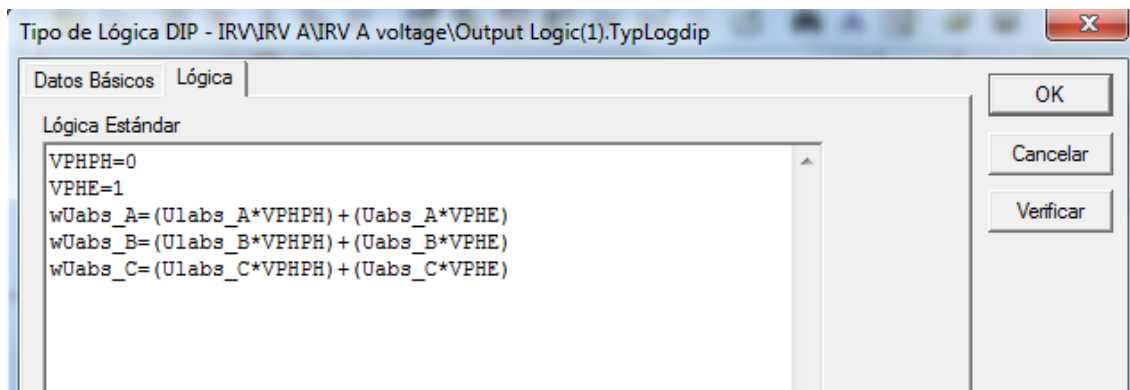


Figura 17: Implementación bloque lógico

Una vez seleccionada, la salida del bloque lógico proporciona la tensión con la que debe operar el bloque. La salida se conecta mediante señales a los bloques RelUlim, los cuales realizan una comparación de las tensiones entrantes con el valor de ajuste y mandan la señal de actuación o no actuación a otro bloque lógico. En la Figura 18 podemos observar la estructura de sobretensión de fases, con la lógica selectora (RelLogdip), los bloques de detección de variación de tensión de fases (RelUlim) y la lógica de salida (RelLogdip).

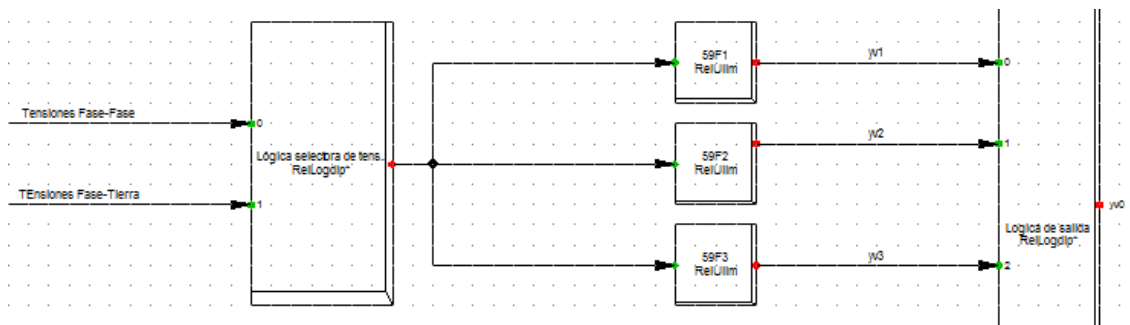


Figura 18: Implementación en PowerFactory de las unidades de sobretensión de fases

## 5.2.2. SUBTENSIÓN DE FASES

Todos los modelos IRV llevan tres unidades de subtensión de fases. El funcionamiento está basado en los mismos principios que la unidad de sobretensión de fases, es decir el usuario puede seleccionar si quiere que el relé opere con tensiones Fase-Fase o tensiones Fase-Tierra.

La forma de implementar esta función es idéntica a la de sobretensión de fases, está basada en el mismo principio. Se ha empleado la misma función selectora de medidas de fase o de línea que para la unidad de sobretensión.



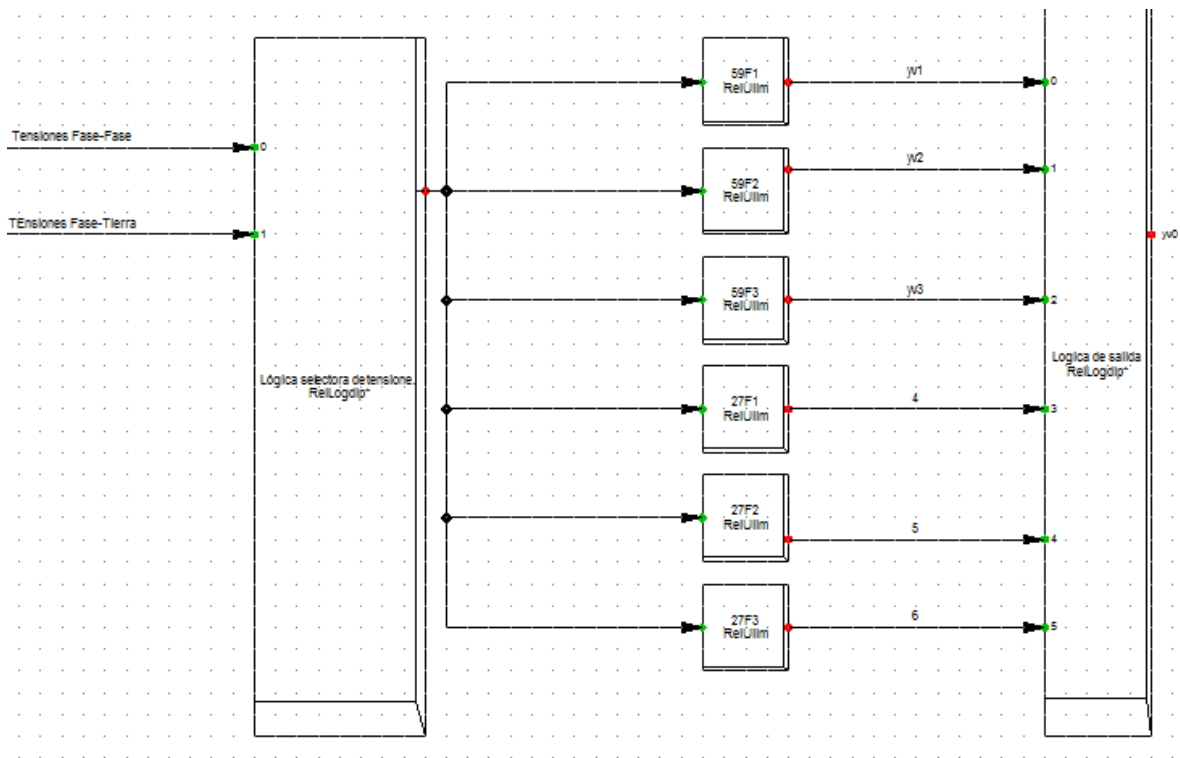


Figura 19: Implementación en PowerFactory de la unidad de sobretensión y subtensión.

### 5.2.3. SOBRETENSIÓN DE NEUTRO

Esta unidad basa su operación en la tensión del neutro. Se produce su actuación en el momento en que la tensión medida está por encima del valor de ajuste. Existen dos posibles nomenclaturas para esta función, {59N} y {64}:

**{59N}** La entrada a la función de sobretensión de neutro es calculada a partir de las tensiones medidas A, B, C:

$$\vec{V}_0 = \frac{\vec{V}_A + \vec{V}_B + \vec{V}_C}{3}$$

**{64}** La entrada a la función proviene directamente de un transformador de tensión con triángulo abierto.

Para la implementación de esta función de sobretensión de neutro en el software DigSILENT PowerFactory, empleamos la medida de tensión llamada V0 desde el elemento de medida de secuencia (conectado a un TI monofásico, un TT trifásico y configurado como corrientes y tensiones de secuencia). Esta señal la conectamos a la entrada del bloque de tensión RelUlim y de ahí a la lógica de salida.

### 5.2.4. SOBRETENSION DE SECUENCIA INVERSA

Los modelos IRV disponen de una unidad de sobretensión de secuencia inversa cuya actuación vendrá determinada por los valores de tensión de secuencia negativa. Para implementar esta unidad, se han realizado los mismos pasos que para la implementación de la unidad de neutro. La tensión de entrada al bloque en esta ocasión es  $U_2$ , obtenida del elemento de medida de secuencia. La salida del bloque se conecta al mismo bloque lógico empleado para sub/sobretensión de fases y sobretensión de neutro.

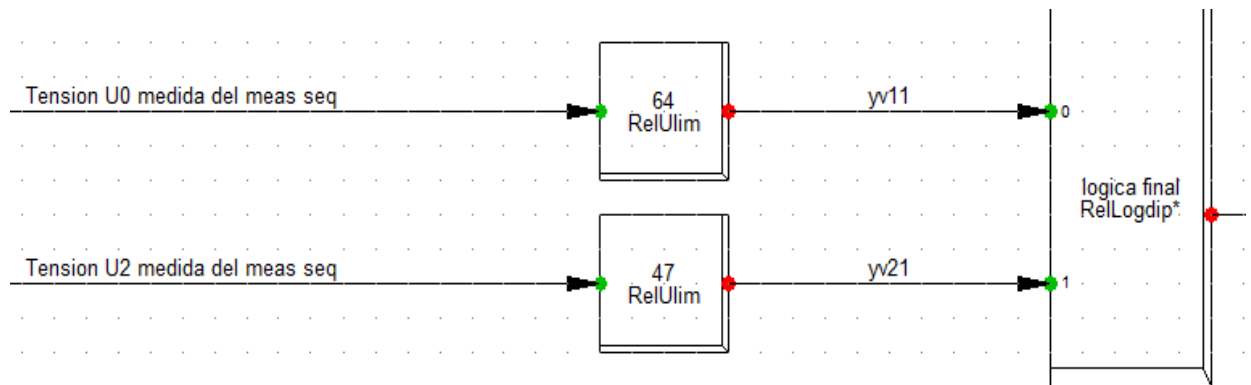


Figura 20. Unidades de tensión de neutro y de secuencia inversa

### 5.3. UNIDAD DE FRECUENCIA

Esta función detecta alteraciones de la frecuencia de la red en el punto en el que esté conectado el relé, dando orden de disparo del interruptor cuando estas alteraciones sobrepasan los valores de ajuste. Tenemos tres tipos de protección ante variaciones de frecuencia:

- *Sobrefrecuencia {81M}.*  
Se encarga de abrir la línea en el caso de que detecte frecuencias superiores a un umbral establecido.
- *Subfrecuencia {81m}.*  
Se encarga de abrir la línea en el caso de que detecte frecuencias inferiores a un umbral establecido.
- *Derivada de Frecuencia {81D}.*  
Mide la variación de frecuencia, es decir la rapidez del cambio de frecuencia en la red en función del tiempo.

Esta unidad, al igual que la unidad de tensión, es común a todos los modelos de relés IRV:

- Modelos IRV: A, B, C, D, G, H y K: 4x81M, 4x81m, 4x81D.

Para la implementación de estas unidades en el software DIGSILENT PowerFactory se ha creado otro subrelé, denominado “Frequency”.

### 5.3.1. SOBREFRECUENCIA

También llamada unidad de máxima frecuencia, los dispositivos de protección IRV cuentan con cuatro unidades de protección ante altas frecuencias. Basan su operación en la tensión de la fase A ( $U_A$ ) o en la tensión de línea AB ( $U_{AB}$ ). Estos dispositivos llevan una unidad de bloqueo ante mínima tensión, es decir, orden de no actuación si la tensión es demasiado baja.

La implementación de esta función se ha llevado a cabo en dos fases diferenciadas:

- Primera fase: Se han creado dos bloques denominados RelFrq y RelFMeas. El bloque RelFmeas calcula la frecuencia a partir de las medidas de tensión, parte real e imaginaria de las tres fases. El bloque RelFmeas permite al usuario elegir la operación de la unidad, si mediante  $U_A$  o  $U_{AB}$ . Estas medidas de tensión se obtienen del elemento de medida principal. Existen dos salidas del bloque RelFmeas. La primera es la frecuencia calculada y se denomina FeHz. Esta primera salida se conecta al bloque que implementa la unidad de detección de sobre o subfrecuencia (RelFrq). La segunda salida es la velocidad de variación de frecuencia y se conecta a la unidad de derivada de frecuencia. Cada bloque RelFrq recibe la frecuencia calculada en el elemento RelFmeas y compara los valores que recibe. Si estos valores están por encima de los ajustes del relé, la salida se pondrá a uno. La salida de todas las unidades de frecuencia se conectan a un bloque lógico, formado por puertas OR que recibe el nombre de Frequency Logic.
- Segunda fase: Implementación del bloqueo de la unidad en caso de mínima tensión. Para realizar el bloqueo se emplea un bloque Ulim. Las tensiones de fase se conectan a la entrada del bloque Ulim y se configura el punto de inhibición. La salida del bloque Ulim se conecta a la segunda entrada del bloque RelFrq. En el momento en que disminuye la tensión por debajo del valor de ajuste, este bloque Ulim envía una señal de actuación que desactiva el bloque de frecuencia RelFrq.

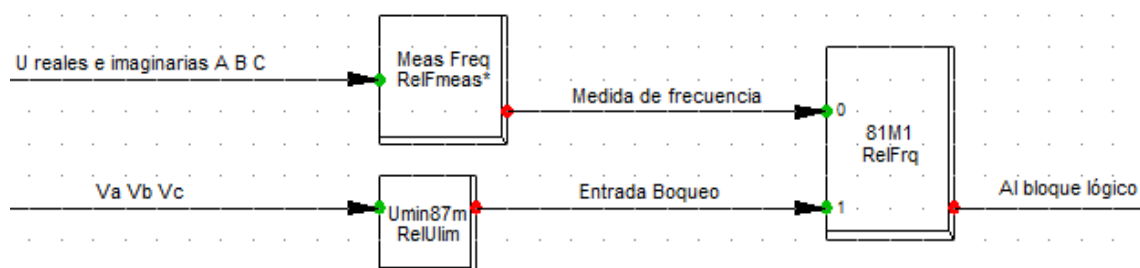


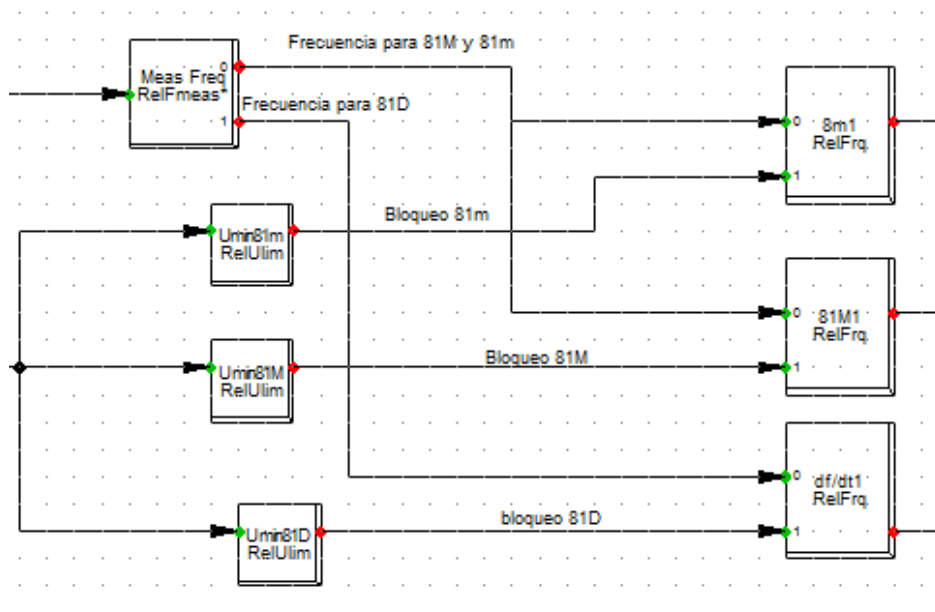
Figura 21. Bloque de frecuencia con bloqueo por mínima tensión.

### 5.3.2. SUBFRECUENCIA

Al igual que la unidad de sobrefrecuencia, esta unidad está formada por cuatro bloques de mínima frecuencia y cada uno de ellos está dotado de inhibición por mínima tensión. La implementación de esta función es la misma que la implementación de la unidad de sobrefrecuencia. La única diferencia es a la hora de entrar los ajustes. Se ha programado un bloque de inhibición de tensión para cada tipo de unidad de frecuencia.

### 5.3.3. DERIVADA DE FRECUENCIA

Al igual que las otras unidades de frecuencia, esta unidad está formada por cuatro bloques con inhibición por mínima tensión. Para implementar este bloque, se emplea el mismo bloque que para las unidades de detección de frecuencia (RelFrq) pero configurado para actuar como gradiente. De la misma forma, la primera entrada del bloque es la derivada de frecuencia que proviene del bloque RelFmeas y la segunda entrada es la entrada del bloqueo por tensión. La salida de los bloques RelFrq se conecta al bloque lógico.



Figuras 22. Bloques de frecuencia

En la Figura 22 se muestra un esquema simplificado de las tres funciones implementadas en el programa, con sus respectivos bloqueos por mínima tensión.

## 5.4. FALLO DE INTERRUPTOR

La unidad de fallo de interruptor tiene como acometida la actuación en caso de que las unidades que tienen que dar orden de disparo fallen, es decir su función es de respaldo.

- En los modelos IRV esta unidad es común a todos ellos. Actúa como respaldo de las intensidades de cada fase y de la intensidad homopolar.

Se puede interpretar como otra unidad de sobreintensidad con ajustes menos sensibles ya que como se ha comentado es una unidad de respaldo. En condiciones de cortocircuito lo que debe actuar primero son las unidades principales de sobreintensidad. Esta unidad recibe dos números ANSI: {50BF} y {62BF}.

Para la implementación de la unidad de fallo de interruptor el bloque utilizado ha sido un RelIoc (sobrecorriente instantáneo) ya que es un bloque de detección de sobreintensidad. Se han creado dos bloques, uno trifásico para detección de sobrecorriente de fases y otro para la sobreintensidad homopolar. La alternativa de emplear cuatro bloques uno para cada fase y otro para el neutro (configurando los cuatro como monofásicos) también es correcto, pero se ha optado por la implementación trifásica.

Al primer bloque RelIoc se conectan las medidas de corriente de cada fase obtenidas del elemento de medida principal. Al segundo bloque RelIoc se conecta la corriente homopolar, pero no utilizaremos la misma corriente que para las unidades {50N}.

Como medida de precaución para garantizar el respaldo, se ha creado un nuevo TI monofásico para obtener otra medida de neutro en otro punto y tener respaldo en caso de fallo del TI principal. Se ha denominado “Neutral CT” y mide la intensidad de neutro. La salida de este bloque se conecta a un elemento de medida denominado “Meas Earth” y éste se configura como corrientes de secuencia. La salida de este elemento de medida se conecta a la entrada del nuevo elemento RelIoc consiguiendo así la medida de neutro, que en condiciones normales deberá ser la misma que la que obtenemos en el elemento de medida principal.

La salida de estos dos bloques RelIoc se conectan a las entradas de un bloque lógico formado por una puerta OR. La salida del bloque lógico se conecta a la entrada de un elemento temporizador o RelTimer, que es el elemento que el usuario puede configurar para ajustar el tiempo de actuación.

La salida de este temporizador se conecta a otro bloque lógico llamado “Out Logic” cuya única señal de salida emite la orden de disparo al relé principal.

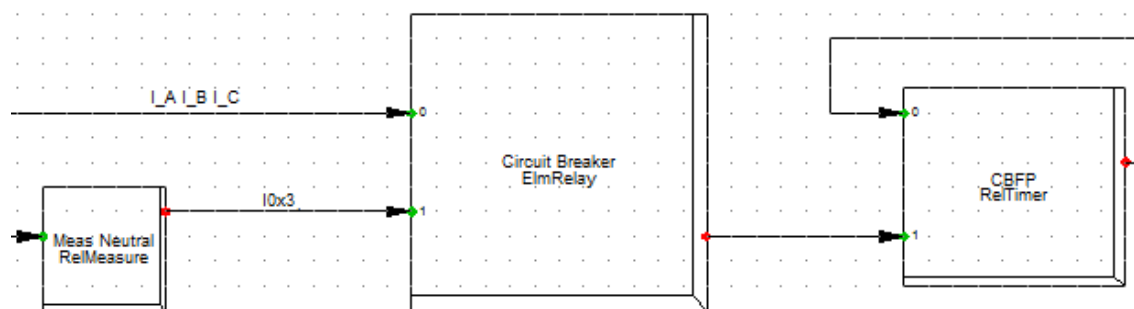


Figura 23: Implementación de la unidad de Fallo de Interruptor en DIgSILENT PowerFactory



La Figura 23 muestra la implementación de esta unidad. Por un lado se ha creado un subrelé llamado “Circuit Breaker” donde van alojados los bloques RelIoc y la unidad lógica. Por otro lado se pueden observar las entradas y salidas de este subrelé y los bloques de medida (RelMeasure) y temporizador (RelTimer).

## **5.5. UNIDAD DE DETECCIÓN DE INTENSIDAD RESIDUAL**

Cuando se habla de intensidad residual, se hace referencia a la corriente homopolar. Esta unidad está diseñada para detectar situaciones de circulación de corrientes residuales o corrientes de desequilibrio, cuando la suma de las corrientes de las tres fases no es cero. Su número ANSI es el {61}.

La intensidad a medir para esta unidad es la de neutro. Una vez superado el valor umbral arranca la unidad. Si las condiciones de arranque se mantienen durante un tiempo superior al ajustado, la unidad envía la señal de disparo al relé.

- Todos los modelos IRV llevan implementada esta unidad.

Para implementar esta unidad se ha utilizado un bloque RelToc de sobrecorriente temporizada ya que, según indica el fabricante, una vez que la tensión homopolar supera el valor de ajuste, espera un cierto tiempo para ver si se despeja la falta. Si al cabo de este tiempo todavía sigue con valores por encima del ajuste, entonces envía la señal de disparo.

Este bloque se ha situado en el subrelé “Current” ya que necesita intensidades. La corriente de entrada se obtiene del elemento de medida de secuencia y la salida se conecta con el bloque lógico ya existente en dicho subrelé denominado “Current Logic”.

## **5.6. UNIDAD SALTO DE VECTOR**

Esta unidad tiene como misión la de desconectar las unidades generadoras síncronas que estén trabajando en paralelo con la red cuando se produce una perturbación en la red, bien debida a una fallo de la propia red o una breve interrupción de la tensión de red. Esta unidad de salto de vector detecta estas anomalías de manera mucho más rápida que otras unidades de protección, como por ejemplo las de voltaje o frecuencia.

- Todos los modelos IRV llevan implementada esta unidad {78}.

El principio de medida de la unidad salto de vector consiste en detectar la perturbación en el propio ciclo en el que se produce, dando lugar a tiempos de desconexión inferiores a 100 ms.

Se detalla a continuación el funcionamiento de la unidad. En la Figura 24 se presenta el circuito equivalente de un generador síncrono [12].

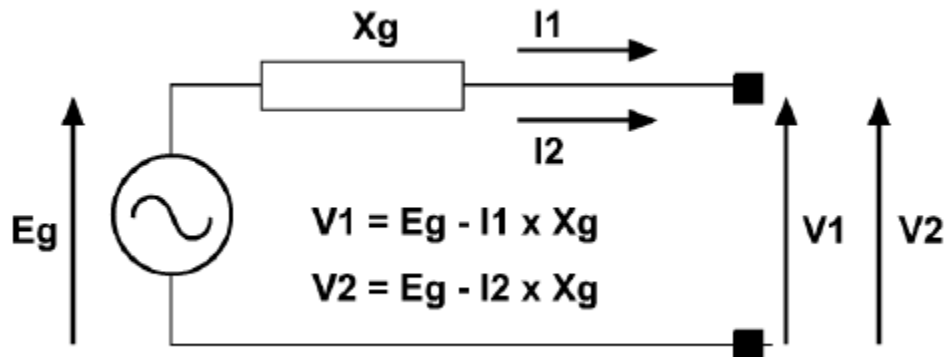


Figura 24. Esquema equivalente de un generador síncrono [12]

La tensión  $V_1$  representa la tensión normal de operación con el generador operando con una intensidad  $I_1$ , y  $V_2$  la que se produciría cuando hay una perturbación en la red. Si consideramos la tensión interna equivalente  $E_g$  constante y de referencia de fase, en caso de variación de tensión con respecto a la situación primera se obtiene también una intensidad diferente  $I_2$ . El salto de vector y la diferencia de fases se observa en la Figura 25 y 26, y se denomina  $\Delta\Phi$ .

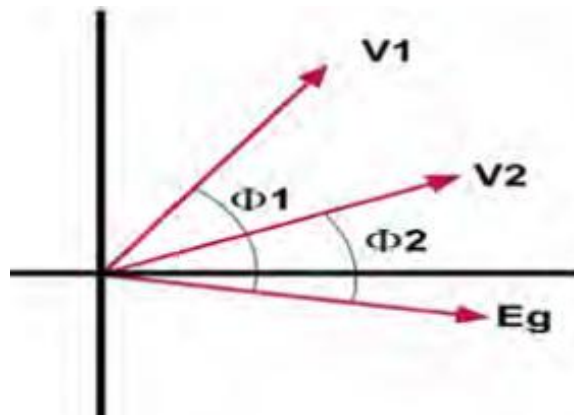


Figura 25: Tensiones en el instante 1 y 2 [13]

Esta diferencia de fase es patente en el momento en que se produce la perturbación ya que después se mantendrá la fase nueva fase.

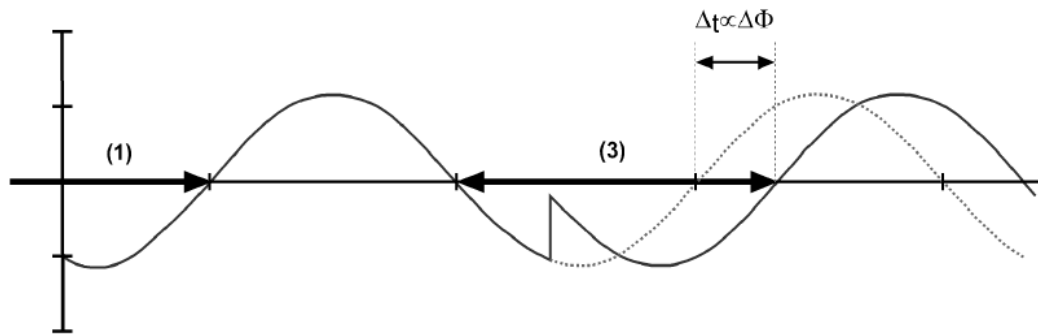


Figura 26: Salto de fase [14]

Para implementar esta unidad en DIgSILENT PowerFactory se ha empleado un elemento de polarización (RelPolarizing), propio de las unidades de distancia. Se puede emplear porque posee memoria y se debe tener registrado el momento previo al evento para poder hacer una comparación entre un estado anterior al estado actual.

El elemento de polarización tiene siete entradas:

- Tensiones de línea de las tres fases, parte real e imaginaria, desde el elemento Delta Measure.
- Corrientes de línea de las tres fases, parte real e imaginaria, desde el elemento Delta Measure.
- Corriente Homopolar, parte real e imaginaria, medida desde un CT conectado a tierra.
- Señal de reloj (Clock) para que almacene en memoria los tiempos. Esta señal se obtiene del elemento de medida principal.
- Corriente Homopolar, parte real e imaginaria, medida desde el elemento de medida de secuencia.
- Tensiones, parte real e imaginaria, de las tres fases desde el elemento de medida.
- Corrientes, parte real e imaginaria, de las tres fases desde el elemento de medida.

Este bloque tiene dos salidas:

- Resistencias y reactancias fase-fase, denominadas R\_A,X\_A,R\_B,X\_B,R\_C,X\_C.
- Resistencias y reactancias fase-neutro, denominadas RI\_A,XI\_A,RI\_B,XI\_B,RI\_C,XI\_C

Las salidas se conectan a dos bloques tipo RelFdetsie. Los bloques de tipo RelFdetsie son bloques arrancadores. Con las señales de impedancia y de reactancia que reciben y los valores de las distintas tensiones e intensidades lo que hacen es formar las señales como las representadas en la Figura 26. Estos bloques tienen una única salida que se conecta con el bloque RelDispoly, el cual recibe la diferencia de fase entre el instante actual y el anterior. Según sus ajustes tendrá que decidir si dispara o no según se



produzca el cambio de fase. La salida se conecta al bloque lógico de interconexión de las demás salidas de los subrelés llamado “Final Logic”.

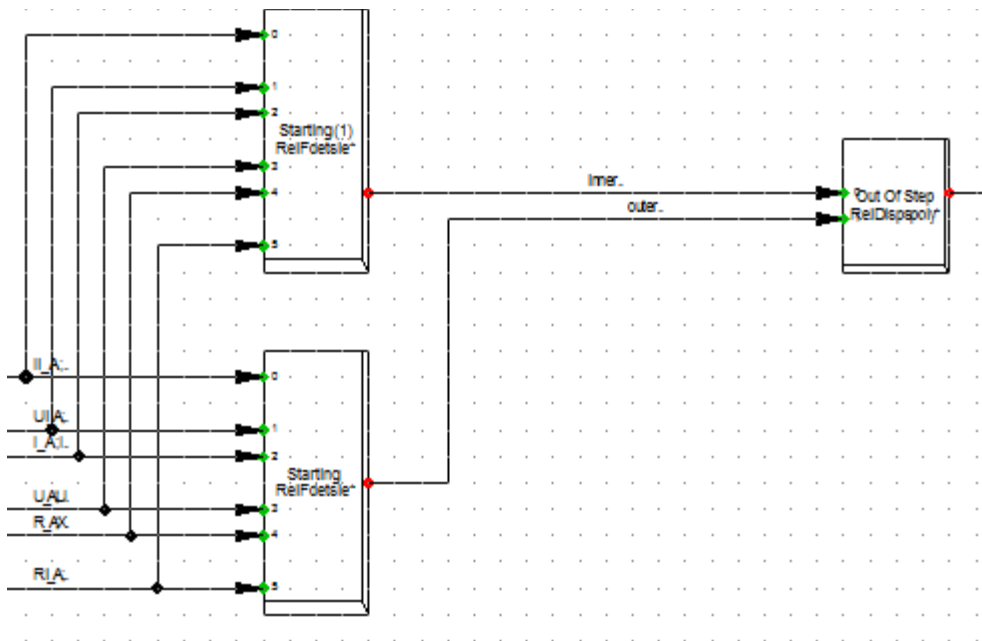


Figura 27. Implementación de la unidad de salto de vector

## 5.7. UNIDAD DE IMAGEN TÉRMICA.

Estas unidades se emplean como sustitutas de los relés térmicos, ya que la medida de temperaturas en la máquina a proteger es bastante compleja. Las unidades de protección térmica tienen problemas para poder realizar su misión debido a zonas sensibles como por ejemplo los devanados, en donde aumenta la complejidad del cálculo de temperatura [15].

La práctica común es la de medir en zonas muy próximas como por ejemplo, medir la temperatura del aceite del transformador. El inconveniente es la elevada inercia térmica del aceite, por lo que el empleo de estas unidades requiere algoritmos basados en estudios experimentales del elemento a proteger.

En vez de usar relés térmicos, se emplean unidades de imagen térmica. Los algoritmos matemáticos que esta unidad utiliza están basados en la física de los materiales, estimando la temperatura de la máquina por medio de intensidades circulantes.

Esta unidad de imagen térmica está siempre arrancada. El tiempo de disparo se define según una característica, llamada en este caso característica térmica, cuyo número ANSI es {49}.

- Todos los modelos IRV llevan implementada esta unidad de imagen térmica.

Esta unidad basa su operación en la intensidad medida y su actuación según una característica, por lo tanto, para su implementación se ha empleado un bloque de sobrecorriente temporizada (RelToc).

Este bloque se ha colocado en el subrelé existente (Current). La entrada se conecta con las entradas de los bloques 50/51F (corrientes eficaces de fases) y la salida se conecta con el bloque lógico llamado “Current Logic”.

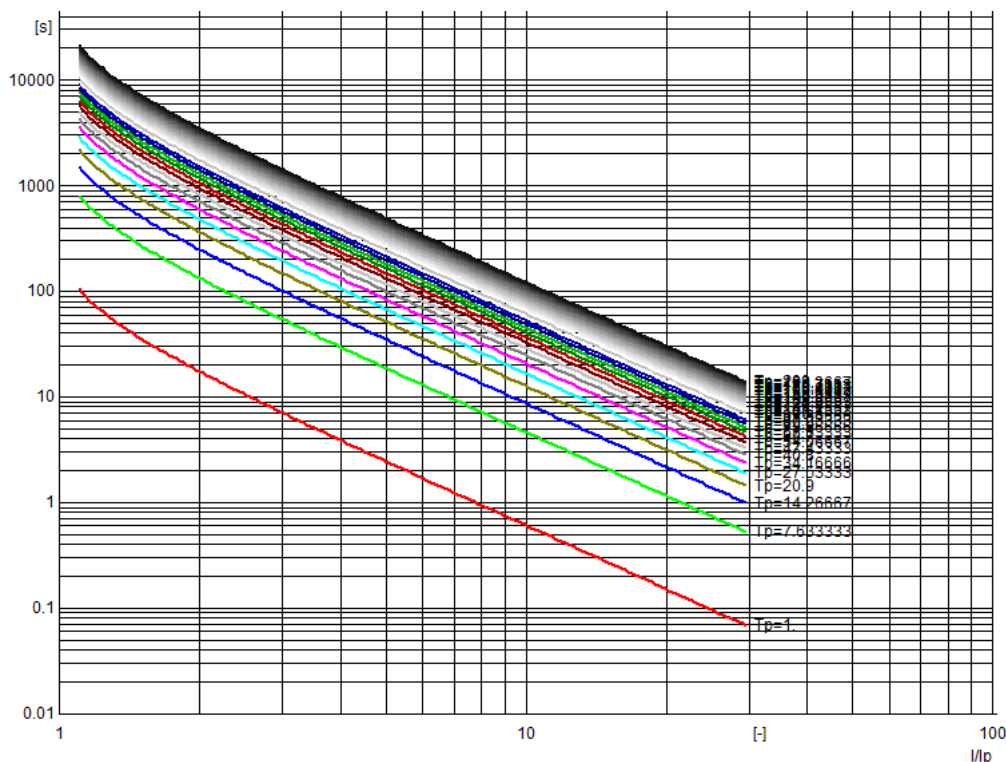


Figura 28. Características de la unidad de imagen térmica según factor  $T_p$  [16].

Las características definidas para la unidad de imagen térmica se representan en la Figura 28.

## 5.8. UNIDAD DE IMAGEN TÉRMICA PUNTO CALIENTE (HOT SPOT)

La misión de esta unidad es determinar el envejecimiento de un transformador o lo que es lo mismo su vida restante. Esto se realiza mediante la medida de temperatura del transformador. Esta medida se toma en el punto más caliente del bobinado del transformador, punto al que se denomina por su traducción al inglés como “Hot Spot”.

El funcionamiento de esta unidad se puede clasificar en tres regímenes:



1. Régimen normal: En condiciones normales o nominales, la unidad indica que el transformador opera con normalidad por lo que la vida útil no varía según la estimación inicial (la unidad no muestra ningún tipo de aviso).
  2. Régimen de emergencia de larga duración: se da en condiciones de sobrecarga. Indica que el transformador está perdiendo vida con respecto a la estimada pero esta situación se puede dar durante un período de tiempo largo (la unidad mostrará una alarma).
  3. Régimen de emergencia de corta duración: se da en condiciones de sobrecarga alta. El transformador está perdiendo muchos años de su vida estimada, por lo tanto esta situación tiene que ser rápidamente solventada o dicho transformador acabará por destruirse (en este régimen la unidad no avisa, directamente desactiva el transformador a los treinta minutos si no se ha solventado el problema).
- El único modelo IRV que dispone de esta unidad es IRV K.

Esta unidad no es posible implementarla ya que los modelos son puramente eléctricos y no se pueden simular la temperatura en un punto exacto del bobinado.

## **5.9. UNIDAD DE SOBRECARGA**

La unidad de sobrecarga tiene como misión proteger al transformador en régimen de carga de emergencia de corta duración. En este régimen, los valores de sobrecarga y calentamiento producen una pérdida de la rigidez dieléctrica que puede ocasionar el fallo del transformador.

Es una protección de sobreintensidad que utiliza como medida la intensidad de la fase A. Tiene como particularidad, además de tener un disparo instantáneo si el valor de la corriente es excesivamente alto, la de disponer de un ajuste de tiempo de hasta dos horas. No tienen unidad direccional y no generan reenganche.

- Esta unidad de sobrecarga está solo disponible en el modelo *IRV K*.

Esta unidad se ha implementado en el software DIgSILENT PowerFactory mediante dos bloques de sobrecorriente:

- Un bloque de sobreintensidad de disparo instantáneo (RelIoc)
- Un bloque de sobreintensidad de disparo temporizado (RelToc).

Estos bloques se han creado dentro del subrelé de corriente (Current) ya que su operación es a partir de corrientes.

La señal de entrada es la misma para los dos bloques. El fabricante indica que ambos trabajan con la intensidad de la fase A. Esta intensidad se obtiene del elemento de medida principal. La salida del bloque se conecta al bloque lógico de corriente (“Current Logic”). Cabe señalar que el bloque por defecto se presenta con ajustes trifásicos y se modifica para esta unidad como monofásico.

## 5.10. UNIDAD DE INTENSIDAD MÍNIMA

Esta unidad se usa para la protección de motores con el objetivo de detectar una intensidad por la máquina causada por una disminución de carga en el sistema. Cuando por la máquina circule una corriente por debajo de la nominal durante un tiempo determinado, esta unidad da la orden de apertura del interruptor. Al emplear esta unidad se recomienda al usuario que dote al relé de valores de tiempo suficientemente altos para evitar disparos no deseados por bajadas instantáneas de intensidad.

- Todos los modelos IRV llevan implementada esta unidad {27}.

Las magnitudes en las que se basa su funcionamiento son:

- La intensidad de secuencia directa
- Intensidades de fases

Esta unidad es de subintensidad temporizada. Para su implementación se emplean los mismos bloques que para la sobreintensidad temporizada (RelToc). Esta unidad se implementa en el subrelé de corriente (Current) por operar con intensidades.

Se han creado dos bloques de sobrecorriente temporizada (RelToc) tal y como ya se ha hecho anteriormente pero se ha modificado la configuración del bloque como indica la Figura 29. El campo que debe estar activo es el denominado “Negar Salida”.

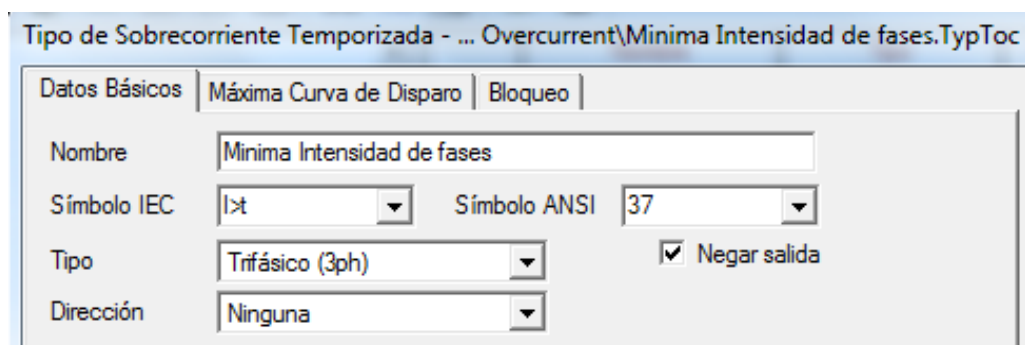


Figura 29: Configuración de la unidad de intensidad mínima de fases

Las intensidades eficaces de las tres fases obtenidas del elemento de medida principal se conectan a la entrada del primer bloque. La corriente de secuencia directa obtenida

desde el elemento de medida de secuencia se conecta al segundo bloque, configurado como monofásico.

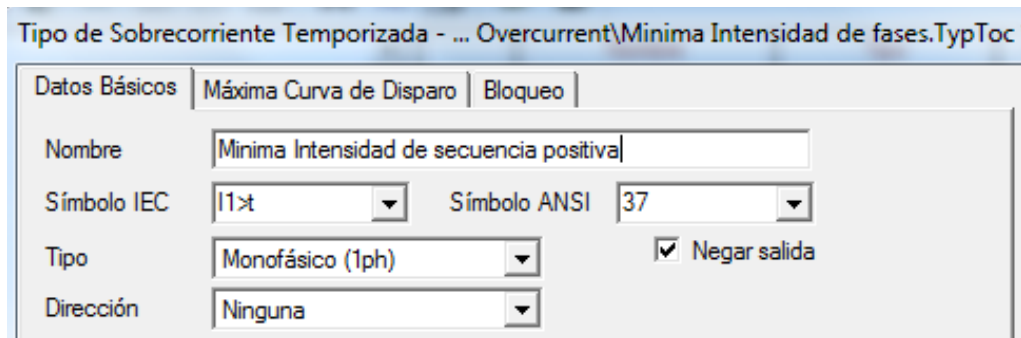


Figura30. Configuración de la unidad de intensidad mínima de secuencia directa

## 5.11. UNIDAD DE FALTAS A TIERRA RESTRINGIDAS.

Esta función se utiliza para detectar faltas en los devanados de los transformadores y faltas en los generadores, conectados en estrella a tierra. Una falta producida en uno de estos elementos, producirá corrientes elevadas y en caso de desequilibrio éstas dependerán de la impedancia a tierra. Dependiendo de esa impedancia la falta puede ser desde muy grande a muy pequeña.

El funcionamiento de esta unidad se basa en la comparación de la corriente de puesta a tierra frente a la intensidad de neutro calculada a partir de las tres corrientes de fase que entran en la máquina:

- Si esta unidad detecta una falta en su interior, el relé verá las intensidades de puesta a tierra en un sentido y la intensidad homopolar en el sentido contrario, es decir las verá enfrentadas.
- Si la falta fuera externa al elemento protegido, tanto la intensidad de puesta a tierra como la intensidad homopolar tendrán el mismo sentido hacia la falta por lo tanto la intensidad diferencial en este caso será cero.

Se define intensidad diferencial como:

$$I_{diff} = \frac{\vec{IA} + \vec{IB} + \vec{IC}}{\frac{CTI_{pol}}{CTFase}} - \vec{I_{pol}}$$

Siendo:

- $I_{diff}$  intensidad diferencial del neutro del devanado.
- $I_A, I_B, I_C$  intensidad de cada fase

- $I_{pol}$  intensidad de la puesta a tierra mediante el canal de intensidad de polarización
  - $CTI_{pol}$  Relación de transformación de los TI
  - $CTF_{ase}$  Relación de transformación de los TT
- Los modelos *IRV A*, *D* y *H* disponen de esta unidad {87N}.

Para implementar esta unidad se emplea el bloque diferencial (RelBiasidiff), que dispone de cinco entradas:

- Corriente Homopolar eficaz, obtenida desde el elemento de medida principal.
- Corriente homopolar, parte real e imaginaria, medida desde el elemento de medida principal.
- Corriente eficaz, medida desde el elemento de medida de neutro principal.
- Corriente real e imaginaria medida desde el elemento de medida de neutro principal.
- Realimentación de su salida.

La Figura 31 muestra la implementación en DIgSILENT PowerFactory.

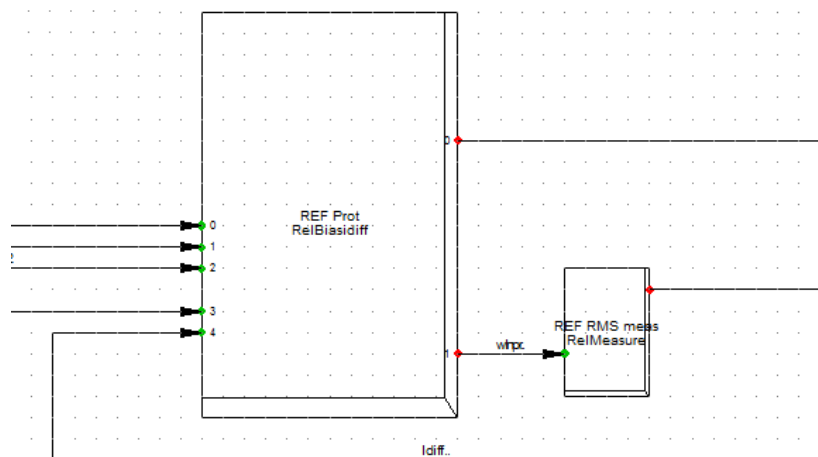


Figura 31: Implementación de la unidad de faltas a tierra restringida

La primera salida se envía a un bloque lógico y representa la señal de disparo. La segunda salida se conecta con un elemento de medida que calcula la corriente diferencial para enviar de nuevo al relé.

## 5.12. UNIDAD DE CARGA FRÍA

Esta unidad actúa cuando se produce una apertura de un interruptor debida a una falta y no ha sido posible su reenganche. En ocasiones ocurre que se tienen problemas para el

cierre del interruptor, ya que por ejemplo en el caso de grandes motores se pueden producir picos de intensidad muy elevados y ello puede llevar a la actuación de las unidades de protección de intensidad.

Para evitar este disparo por sobreintensidad lo que se debe hacer es aumentar su tiempo de arranque (sólo en el cierre del interruptor) y después estos valores han de volver a su régimen normal (unos segundos después del cierre del interruptor, momento en el cual ya no detecten las protecciones de sobreintensidad ese pico de corriente). La función de la unidad de carga fría es la de aumentar los valores de arranque de las unidades de sobreintensidad.

- Todos los modelos IRV disponen de la unidad de carga fría.

Para implementar esta unidad se ha empleado un bloque por defecto de unidad de reenganche (RelRecl). Para poder activar la unidad de carga fría, hay que dotarla del tipo “Cooper Power System Form 5” (pestaña “General Settings” en la Figura 32). En la pestaña de “Cold Load Pickup”, se introducen los ajustes de dicha unidad (Figura 33).

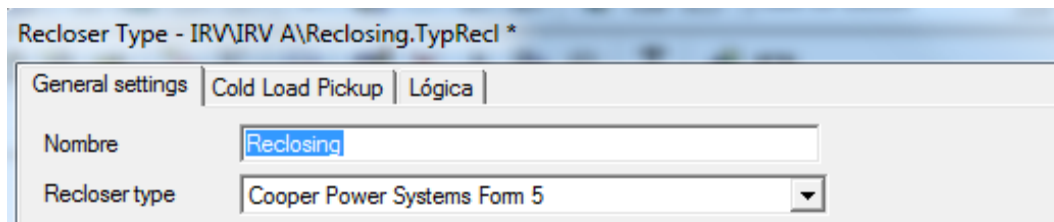


Figura 32: Configuración de la unidad de carga fría.

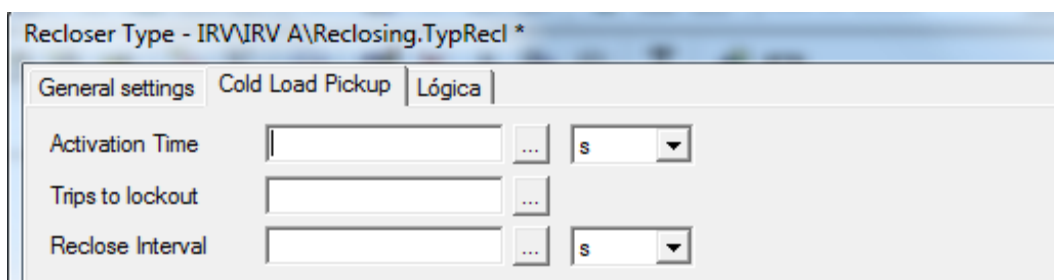


Figura 33: Configuración de la unidad de carga fría.

### 5.13. SUPERVISION DE LAS MEDIDAS DE LAS INTENSIDADES

La misión de esta unidad es la de medir las intensidades de fase. Para su aplicación es necesario la medida de las tres intensidades ( $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ). Cuando detecta que la corriente en una fase tiene un valor inferior al dos por ciento de su valor nominal, se comprueba si las otras fases están a tensión nominal o con un valor máximo al cinco por ciento por encima de ésta. También se comprueban sus desfases ( $120^\circ \pm 10^\circ$ ) y si estas dos fases



están sanas se da la alarma de fallo, debida a que la corriente de la fase con problemas está por debajo del dos por ciento de su valor nominal.

- El único modelo de relé que pose esta unidad es el IRV H {60CT}

Para implementar esta unidad se han utilizado bloques de subcorriente instantánea (nueve bloques RelIoc). Esta unidad ha sido creada en un subrelé llamado “Supervisión”.

Al primer elemento RelIoc se conecta la corriente de la fase A, y se ajusta a un valor del dos por ciento por debajo de su valor nominal. La corriente de la fase B se conecta al segundo elemento RelIoc y se ajusta por máxima tensión a un valor de cinco por ciento por encima de su valor nominal. La corriente de la fase C se conecta al tercer elemento RelIoc y se ajusta de la misma forma que la corriente de la fase B. La salida de los tres bloques se conecta a un bloque lógico especial definido para esta unidad.

Para cada grupo de tres elementos de sobrecorriente RelIoc se puede definir una lógica o emplear la misma para todos. Para que esta función proporcione una señal de alarma o fallo lo que se debe cumplir es que la fase de subintensidad proporcione una señal de activación, se compruebe si las otras dos fases permanecen sanas y se avise del fallo. Esta lógica se ha implementado mediante la función NAND.

#### 5.14. REENGANCHADOR.

La función del reenganchador, como su propio nombre indica, es la reconexión en caso de desconexión en las situaciones en las que esto sea posible:

- Todos los modelos IRV disponen de la unidad de reenganche {79}.

El reenganchador de la familia IRV permite realizar hasta cuatro reenganches, permitiéndolo al usuario ajustar los tiempos de reenganche. Los reenganches se pueden clasificar en diferentes tipos:

- **Reenganche para faltas a tierra (I):** Lo que reengancha son las unidades temporizadas de corriente: las de neutro, neutro sensible y neutro aislado.
- **Reenganche para las faltas entre fases (I):** Lo que reengancha son las unidades temporizadas de corriente de fase/s, por ejemplo {51F1} {51F2} {51FA}...
- **Reenganche para faltas a tierra (II):** Lo que reengancha son las unidades instantáneas de corriente, como son, {50N} {50NS}...
- **Reenganche para las faltas entre fases (II):** Lo que reengancha son las unidades instantáneas de corriente de fase/s, como son {50FA} {50F3}.....





- 
- **Reenganche para faltas intensidad Residual:** Lo que reengancha es la unidad de detección de faltas residuales, {61}.

La forma de implementar esta unidad es muy parecida a la implementación de la unidad de carga fría. Se ha empleado el bloque RelRecl. Este bloque sólo dispone de seis señales de salida, cinco de las cuales se conectan con las entradas de bloqueo, y la sexta salida se conecta a un bloque lógico:

- Primera salida, llamada iblock1: conecta los elementos de corriente temporizada (RelToc) de neutro, neutro aislado, neutro sensible...
- Segunda salida, denominada iblock2: enlaza (bloques RelToc) los elementos de corriente temporizada de fases.
- Tercera salida, denominada iblock3: conecta con las unidades instantáneas de corriente (bloques RelIoc) correspondientes a las de neutro, neutro sensible.
- Cuarta salida denominada iblock4, conecta con los instantáneos de fase/fases.
- Quinta salida iblock5, conecta con la unidad de intensidad residual.
- Sexta salida, conectada al bloque lógico que da la señal de activación.

La entrada de bloqueo de los bloques RelIoc y RelToc tiene dos posibles valores, cero o uno. Si es cero el bloque actúa como si no hubiera entrada bloqueo conectada, es decir situación normal. En el caso de que la entrada de bloqueo sea uno, el comportamiento del bloque es no dar la señal de abrir interruptor. En una primera situación el bloque detecta una intensidad elevada y da la orden de disparo. Al activarse el reenganchador activaría la entrada de bloqueo, volvería a poner en funcionamiento el bloque pero no le permitiría dar señal de disparo durante el tiempo configurado en la unidad de reenganche.

Para añadir la nueva entrada en la definición del bloque, se introduce el nombre de la señal en la parte inferior (iblock, ver Figura 34). Gráficamente se añade una nueva entrada al bloque y se permite conectar mediante una señal.

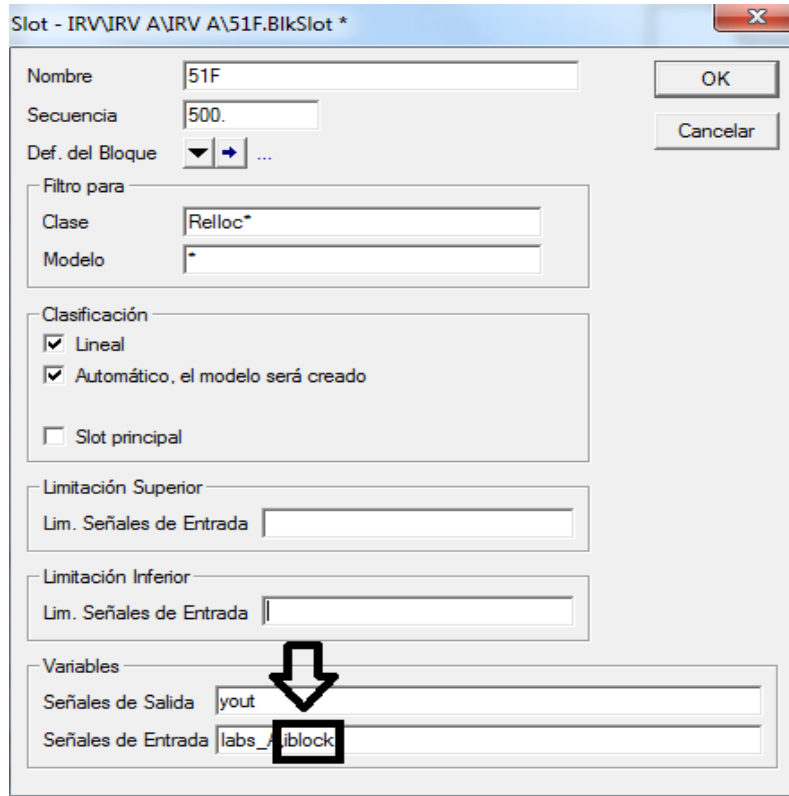


Figura 34: Señal de entrada de bloqueo

## 5.15. ESQUEMAS DE TELEPROTECCIÓN

Los modelos IRV D, G y H disponen de esquemas de teleprotección, como un complemento de sus unidades direccionales de neutro y de secuencia inversa. Incluye los esquemas de:

- Disparo por subalcance permisivo
- Disparo transferido directo
- Disparo por sobrealcance permisivo

Es posible crear otros esquemas de teleprotección definidos por el usuario, mediante las lógicas programables que incluye el relé y que se pueden programar en el modelo añadiendo señales que se podrían conectar a elementos externos al relé. Estas entradas externas pueden ser capaces de dar la orden de apertura o bloqueo del relé, siendo totalmente configurable por el usuario.

## 6. MODELO DE RELÉ ZLS

Este modelo es una protección de distancia, según la definición del fabricante [17]. Las protecciones de distancia son de aplicación en líneas en las que las condiciones de explotación (carga, potencias de cortocircuito, dirección de carga, condiciones de alimentación...) son tan variables que resulta imposible la utilización de protecciones de sobreintensidad, ni aún en sus versiones direccionales.

Esta familia de relés de protección ZLS del fabricante español ZIV está formada por tres modelos, modelo I / J / L. En las siguientes tres tablas, se muestran las funciones de cada tipo de relé.

### **MODELO ZLS I**

	21_1F	21_3F	79	25	27	59	67N	49
ZLS I	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗

### **MODELO ZLS J**

	21_1F	21_3F	79	25	27	59	67N	49
ZLS J	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗

### **MODELO ZLS K**

	21_1F	21_3F	79	25	27	59	67N	49
ZLS L	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

### 6.1. UNIDAD DE DISTANCIA

Es la función principal de esta familia de relés, denominada en los números ANSI como {21}. Si nos referimos a una falta de distancia monofásica se emplea {21\_1F}. En el caso de ser distancia trifásica se emplea {21\_3F}. Estas unidades de distancia llevan definidas cuatro zonas de protección independientes, cada una de ellas con su zona de aplicación ajustable. Los modelos ZLS tienen dos características de actuación ante faltas, que se corresponden con las características “mho” y de reactancia.

#### 6.1.1. CARACTERÍSTICA MHO

Esta unidad también puede recibir el nombre de Admitancia. La unidad trabaja mediante dos magnitudes: una magnitud de operación y otra de polarización. Las magnitudes de operación y polarización se basan en los principios de las protecciones

direccionales, es decir indica la dirección donde el relé percibe la falta. La forma que tiene la característica Mho es un círculo desplazado con respecto al plano R–X. La ventaja de usar esta característica es que tanto las oscilaciones del sistema como el nivel de carga van a afectar de manera muy leve a la actuación de la protección. La unidad Mho de los modelos ZLS detecta dos tipos de faltas:

- Faltas fase-tierra
- Faltas fase-fase

En la siguiente tabla se puede ver la magnitud de operación y la de polarización:

**Tabla 1: Magnitudes de Operación y Polarización según el tipo de falta**

Tipo de Falta	Operación	Polarización
<b>Monofásica A</b>	$(I_A + K \cdot I_0) \cdot Z_1 - V_A$	$U_A$ de secuencia positiva
<b>Monofásica B</b>	$(I_B + K \cdot I_0) \cdot Z_1 - V_B$	$U_B$ de secuencia positiva
<b>Monofásica C</b>	$(I_C + K \cdot I_0) \cdot Z_1 - V_C$	$U_C$ de secuencia positiva
<b>Fase-Fase AB</b>	$I_{AB} \cdot Z_1 - V_{AB}$	$U_{AB}$ de secuencia positiva
<b>Fase-Fase BC</b>	$I_{BC} \cdot Z_1 - V_{BC}$	$U_{BC}$ de secuencia positiva
<b>Fase-Fase CA</b>	$I_{CA} \cdot Z_1 - V_{CA}$	$U_{CA}$ de secuencia positiva

Los modelos siguientes disponen de la característica mho:

- ZLS I: dispone de la característica mho pero sólo para {21\_F1}
- ZLS J y L: disponen de la característica mho {21\_F1 y 21\_F3}

### 6.1.2. CARACTERÍSTICA DE REACTANCIA.

También más frecuentemente denominado como distancia cuadrilateral o poligonal, la forma de obtención de su característica es mediante la medición de sensibilidades de reactancia del sistema. Su característica está definida por un cuadrilátero abierto, por lo que es una característica abierta. A diferencia de la característica mho no va a ser direccional, por lo que tendrá que llevar una actuación supervisada por una unidad direccional y un limitador resistivo.

La unidad poligonal de los modelos ZLS detecta dos tipos de faltas, por un lado las de fase-tierra y por otro lado las de fase-fase. Sus magnitudes de operación y polarización se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2: Magnitudes de Operación y Polarización según el tipo de falta**

Tipo de Falta	Operación	Polarización
<b>Monofásica A</b>	$(I_A + K \cdot I_0) \cdot Z_1 - V_A$	$j \cdot I_A$ secuencia inversa
<b>Monofásica B</b>	$(I_B + K \cdot I_0) \cdot Z_1 - V_B$	$j \cdot I_B$ secuencia inversa
<b>Monofásica C</b>	$(I_C + K \cdot I_0) \cdot Z_1 - V_C$	$j \cdot I_C$ secuencia inversa
<b>Fase-Fase AB</b>	$I_{AB} \cdot Z_1 - V_{AB}$	$j \cdot I_{AB}$ secuencia inversa
<b>Fase-Fase BC</b>	$I_{BC} \cdot Z_1 - V_{BC}$	$j \cdot I_{BC}$ secuencia inversa
<b>Fase-Fase CA</b>	$I_{CA} \cdot Z_1 - V_{CA}$	$j \cdot I_{CA}$ secuencia inversa



Los modelos siguientes disponen de la característica mho:

- **ZLS I:** dispone de la protección de reactancia pero sólo para {21\_F1}
- **ZLS J y L:** disponen de las protecciones de reactancia {21\_F1 y 21\_F3}

### **6.1.3. IMPLEMENTACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA POLIGONAL**

Para implementar la característica de reactancia o poligonal, los bloques utilizados son del tipo Reldispoly. Se detalla la implementación de los modelos ZLS J y L (su implementación es la misma) por ser más complejos que el ZLS I.

Se ha empleado ocho bloques RelDispoly:

- Cuatro bloques monofásicos uno para cada zona
- Cuatro bloques trifásicos correspondiente cada bloque a una zona

Se detalla la implementación de una de las zonas, siendo el resto de las zonas implementadas de la misma manera. Para la zona uno se han creado dos bloques, uno monofásico y otro trifásico, cada uno de ellos con seis entradas que son las siguientes:

- Señal del bloque direccional de distancia: que indica si la falta se ha producido hacia adelante o hacia atrás del relé.
- Impedancias de cada zona: estas señales serán diferentes según sea trifásico o monofásico.
- Señal de arrancador o detector de falta y zona.
- Valor de corriente eficaz de las tres fases proveniente del arrancador.
- Entrada de bloqueo
- Temporizador

Estas señales serán las mismas para ambos bloques, (salvo la de tiempo ya que se le permite al usuario ajustar diferente tiempo, según sea fase-fase o fase-tierra). La diferencia que hay entre ellos es la forma de configurarlo ya que uno se configura como monofásico (denominado ZIG) y el otro trifásico (denominado Z1P).

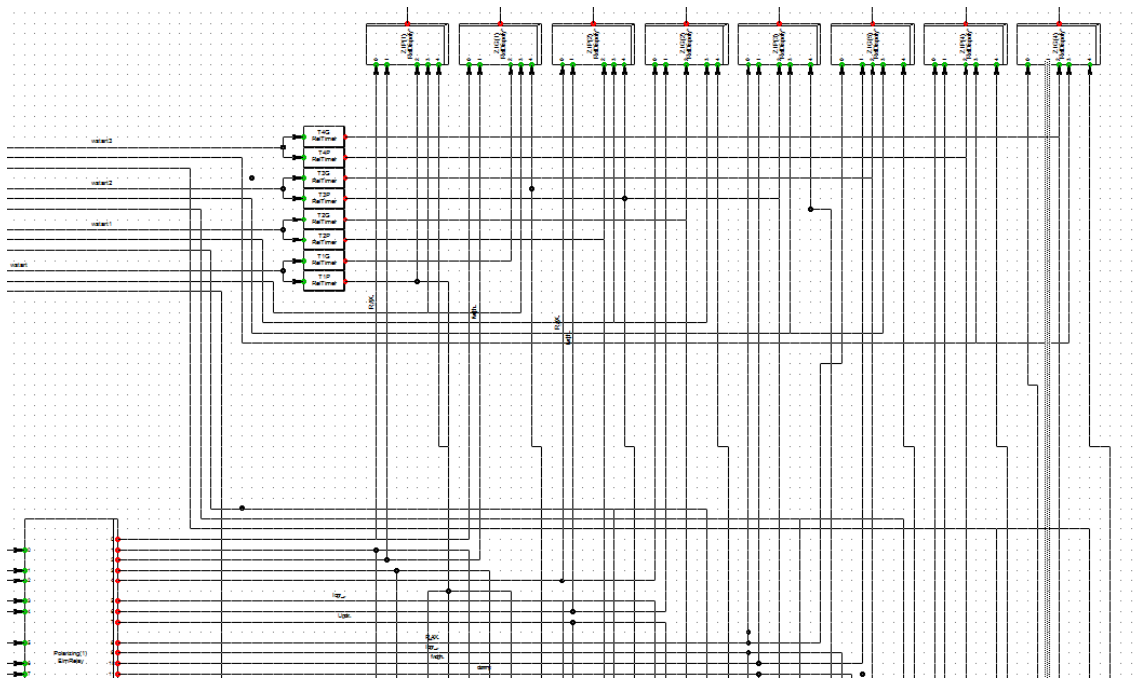


Figura 35: Implementación de la unidad de distancia con característica poligonal

A la salida se obtiene la orden de actuación o no actuación del relé, que se conecta a la lógica final que comunica con el relé. Para implementar el ZLS I se debe realizar lo mismo prescindiendo de los bloques trifásicos, es decir, se quedarían solo cuatro bloques.

#### 6.1.4. IMPLEMENTACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA MHO.

Para implementar la característica mho, se deben emplear los bloques RelDismho. Al igual que antes se detalla la implementación de los tipos ZLS J y L por ser más complejos. Son necesarios ocho bloques RelDismho, cuatro monofásico y cuatro trifásicos.

De la misma forma que para la característica poligonal se detalla la implementación de una zona a partir de dos bloques, uno monofásico y otro trifásico. Cada uno de ellos tiene cinco entradas que son las siguientes:

- Corriente de operación de la zona
- Tensión de polarización de la zona
- Tensión de operación de la zona
- Señal de arrancador o detector de falta y zona
- Entrada de bloqueo
- Temporizador



La salida al igual que los bloques poligonales, se conecta a la lógica final del relé.

Cada bloque correspondiente a la característica de admitancia o cuadrilateral posee una entrada de bloqueo. Este bloqueo está ligado a tres posibles situaciones:

- Bloqueo por la unidad de fallo de fusible
- Bloqueo por reenganche
- Bloqueo por oscilación de potencia

Se conectan las salidas de los bloques fallo de fusible, reenganche y oscilación de potencia a un bloque lógico formado por puertas OR que dejen pasar la señal activa. El funcionamiento consiste en bloquear las características de distancia, evitando así cualquier disparo que se pueda producir por estas características.

## 6.2. FALLO DE FUSIBLE

La función de esta unidad es comunicar si hay algún fusible fundido en el circuito secundario del transformador. Las consecuencias son que el relé perdería una entrada (fase en ausencia de tensión). Esta unidad debe ir unida a la de distancia, ya que cuando falta tensión en una fase las unidades de distancia actuarían. Por lo tanto deben de estar comunicadas para evitar la actuación no deseada de estas unidades.

Esta unidad está disponible en todos los modelos del ZLS:

- **ZLS I y J:** Operan con las tensiones y corrientes de la secuencia positiva.  $I_1$  y  $U_1$
- **ZLS K:** Opera con la intensidad de secuencia directa pero a diferencia de los otros dos modelos, no opera con la tensiones de secuencia directa, sino que lo hace con las tensiones eficaces ( $U_A$ ,  $U_B$  y  $U_C$ ).

Hay dos implementaciones posibles de esta unidad, una para los modelos I y J, y otra manera diferente para el modelo K. En este documento se detalla la implementación del modelo ZLS K por ser más compleja.

El bloque para implementar esta unidad es el de la unidad de sobre/subtensión (RelUlim) ajustado como subtensión y con señales de entrada las tensiones de las tres fases. Con unos valores muy próximos a cero, la salida conectada al bloque lógico enviará la señal de bloqueo de las unidades de distancia.

Adicionalmente tenemos que crear una entrada bloqueo a este bloque RelUlim, debido a que no siempre que falla una fase es por haberse fundido un fusible del secundario del transformador.

La entrada bloqueo se conecta con un bloque de intensidad instantánea, que basa su actuación en la corriente de secuencia positiva. Con esto, se evita que la unidad de fallo de fusible actúe ante cualquier falta que no sea por un fusible.

En la Figura 36 se puede ver como ha quedado implementado este bloque.

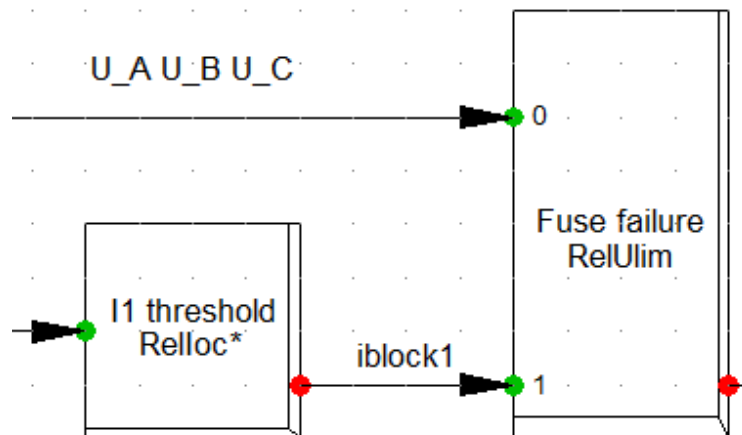


Figura 36: Implementación de la unidad de fallo de fusible

### 6.3. DETECTOR DE OSCILACIÓN DE POTENCIA

Los dispositivos ZLS presentan tres unidades de oscilación de potencia:

- Primera unidad para la zona dos
- Segunda unidad para la zona tres
- Tercera unidad para la zona cuatro.

Estas unidades funcionan en conjunto con las características de distancia. El principio de operación de esta unidad es la de medir el tiempo que tarda la impedancia vista desde una zona exterior a la protección, hasta dicha zona, de tal forma que si ese tiempo es superior a un umbral, se puede considerar que no existe falta sino que lo que se está dando es una oscilación de potencia del sistema. En la siguiente Figura obtenida del manual del fabricante podemos ver gráficamente este fenómeno.



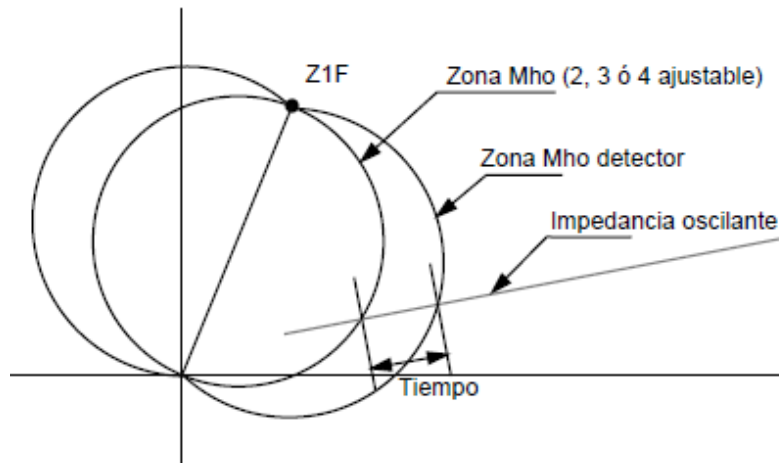


Figura 37: Fenómeno de oscilación de potencia [18]

Los tres tipos que integran el modelo ZLS llevan esta unidad. La implementación de esta unidad se realiza con los bloques RelDispoly. Se han creado tres bloques, uno para cada zona (zona dos, tres y cuatro). Cada uno de estos bloques tiene dos señales de entrada y una de salida:

- Señales de entrada: conectadas a los valores de resistencia y reactancia de cada zona en la que esté operando y al arrancador de distancia de dicha zona (bloque RelFdetect).
- Señales de salida: La salida de estos bloques se conectan con la lógica “Selector Logic”, ya que la función de esta unidad es la de bloquear las unidades de distancia cuando en el sistema se produce una oscilación de potencia.

## 6.4. UNIDAD DE TENSIÓN

Los modelos ZLS aparte de llevar unidades de protección de distancia también disponen de una unidad de protección ante sobretensión y subtensión. La operación es monofásica, se han implementado seis unidades cada una actuando con el voltaje de una fase:

- Los tres modelos de ZLS disponen de protección ante tensión. {3x59} {3x27}

La implementación de estas unidades es similar a la del relé IRV por lo que se citan sólo las particularidades. Los bloques utilizados para su implementación son del tipo RelUlim. Se han creado seis bloques, tres de ellos de sobretensión y otros tres de subtensión. Estos bloques han sido creados en un subrelé llamado “Voltaje”. Lo único a tener en cuenta con respecto a lo implementado en el modelo IRV, es la configuración de los bloques que en esta ocasión son monofásicos.

## 6.5. UNIDADES DE SOBREINTENSIDAD DIRECCIONAL.

Las unidades de sobreintensidad direccional, al igual que ocurría con el modelo IRV, van acompañadas de una unidad de intensidad instantánea y una unidad de intensidad temporizada. El funcionamiento de la unidad direccional puede ser mediante dos métodos a elegir por el usuario:

- *Primer método:* Operando con la corriente homopolar y polarizando con la tensión homopolar.
- *Segundo método:* Operando con la corriente de secuencia inversa y polarizando con la tensión de secuencia negativa.

La actuación de la unidad de sobreintensidad instantánea consiste en dar la señal de apertura del interruptor una vez que detecta que los valores de intensidad medidos (intensidad homopolar o la de secuencia inversa según la que este activada) supere en un cinco por ciento el valor ajustado. La actuación de la unidad de sobreintensidad temporizada, al igual que la unidad instantánea, se activa en el momento que el valor de intensidad medido supera el cinco por ciento del valor del ajuste. Las curvas o características que gobiernan esta unidad son la inversa, muy inversa, extremadamente inversa y una de tiempo definido.

- Los tres modelos de ZLS disponen de estas dos unidades {67N} y {67Q}

Para implementar esta unidad se han creado dos bloques RelDir, ya que el fabricante indica que tienen que existir los dos y el usuario poder seleccionar uno de ellos. A continuación se han creado dos bloques RelToc y dos bloques RelIoc acompañando uno de cada tipo a cada unidad direccional. Las entradas de la unidad direccional son:

- *Direccional de Neutro:* Las entradas de operación es la señal de la corriente homopolar, y la entrada de polarización es la tensión homopolar.
- *Direccional Secuencia Inversa:* La entrada de operación es la señal de la corriente de secuencia inversa y la entrada de polarización es la tensión de secuencia inversa.

Las salidas de la unidad direccional son dos, para indicar el sentido de la falta (hacia delante, hacia atrás). Estas salidas se conectan con los bloques RelIoc y RelToc, correspondientes a cada unidad. Esta unidad se ha implementado en un subrelé, llamado “directional”. En la Figura 38 se puede ver su estructura. La unidad direccional de neutro se ha denominado “Dir neutral” y la de secuencia negativa se ha denominado “DirNegSeq”.

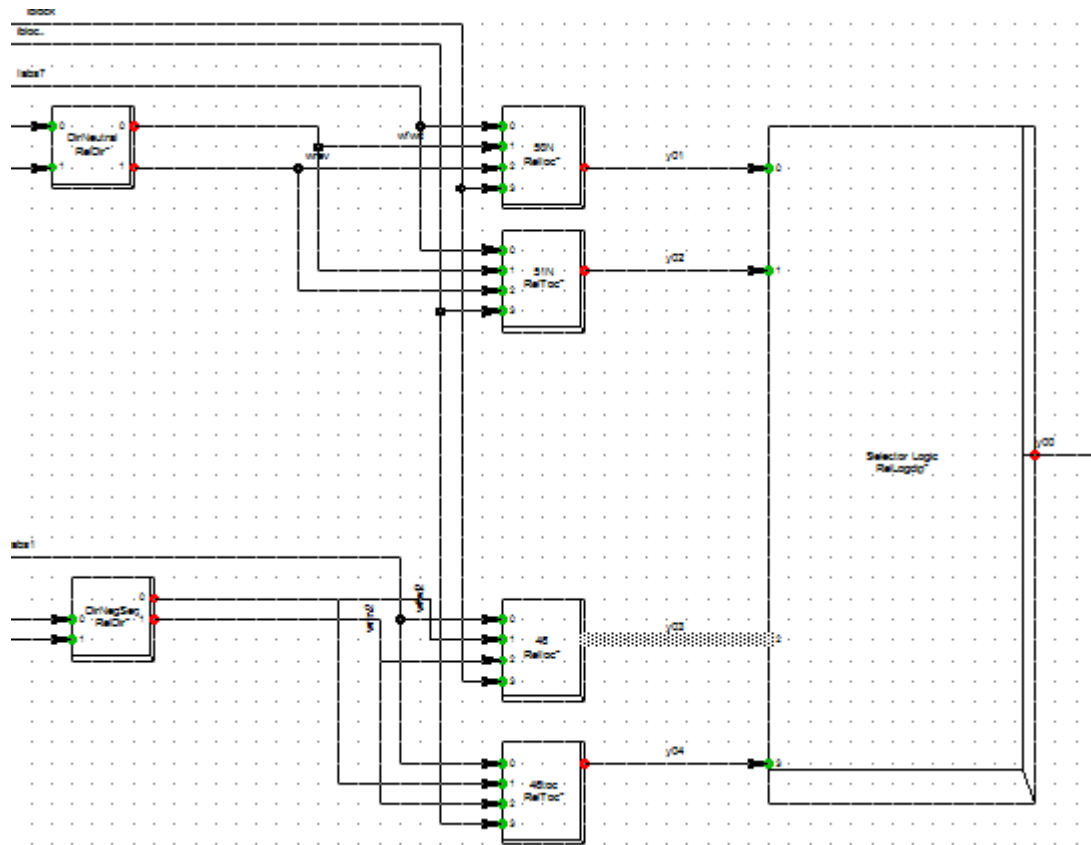


Figura 38: Implementación de la unidad de sobreintensidad direccional

Las salidas de los bloques instantáneos y temporizados se conectan con el bloque lógico llamado “Selector Logic” que permite seleccionar al usuario cual de las dos desea tener activada. El algoritmo utilizado es:

- neutral=1
- seq=0
- $y0=(y1*neutral+y2*neutral)+(y3*seq+y4*seq)$

Según el usuario configure los parámetros “neutral” y “seq” la salida será adaptada a su selección.

## 6.6. UNIDAD DE IMAGEN TÉRMICA

Al igual que en el modelo de relé IRV la unidad de imagen térmica reemplaza los relés térmicos y es más sencilla de emplear por utilizar algoritmos de la física de los materiales, basados en estimar la temperatura mediante la intensidad circulante. La unidad funciona siempre arrancada con una característica llamada de imagen térmica, que se representa en la Figura 39.

Tiempo en minutos

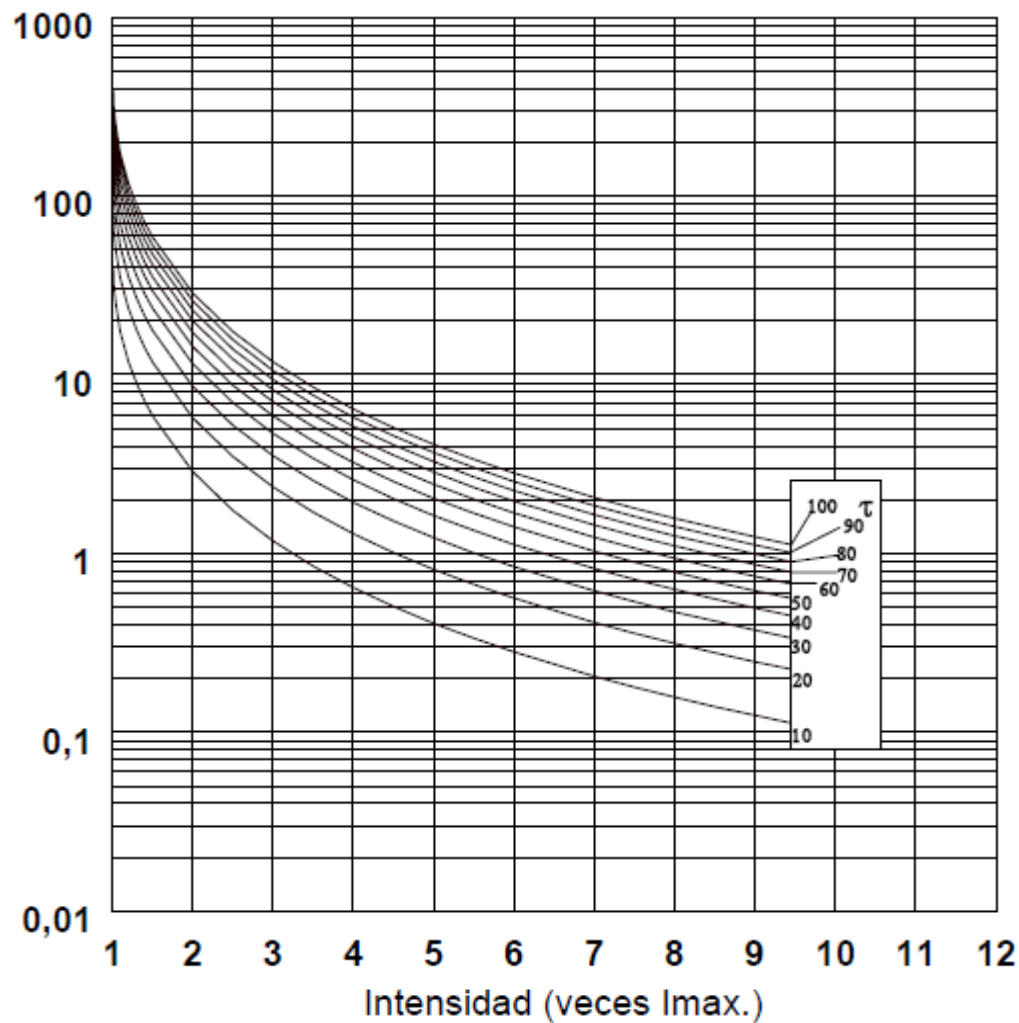


Figura 39: Características de la unidad de imagen térmica [19]

La ecuación que sigue la característica es la siguiente:

$$I^2 = \theta + \tau \frac{d\theta}{dx}$$

En donde:

I es la intensidad medida

τ es la constante de tiempo, siendo su valor ajustable

- El único modelo de la familia ZLS que dispone de la unidad de imagen térmica {49} es el ZLS L

Para implementar esta unidad de imagen térmica, se realizan los mismos pasos que para el relé IRV.



## 6.7. UNIDAD DE DETECCIÓN DE FALTA

La función de esta unidad es avisar si detecta alguna falta en el sistema. No abre el interruptor pero muestra una señal en pantalla indicando donde se ha detectado dicha falta. La actuación de esta unidad se basa en la comparación de los valores de intensidad medidos frente a los ajustados. Estos valores de intensidad son los de secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia homopolar.

- Todos los modelos ZLS disponen de este detector.

Para implementar esta unidad se han empleado tres bloques de sobreintensidad instantánea (RelIoc), cada uno con una entrada y una salida. La corriente correspondiente se ha conectado a la entrada de cada uno de ellos y la salida se ha conectado a la lógica del relé. La lógica es diferente respecto a la del resto de unidades de sobreintensidad, ya que no debe disparar el relé sino sólo mostrar un aviso.

Se ha añadido una nueva señal de salida denominada ALARM y se ha configurado en la lógica programable como  $ALARM = yI1.or.yI2.or.yI0$

## 6.8. REENGANCHADOR

La misión de esta unidad es la de cerrar el interruptor una vez que este está abierto. Los modelos ZLS tienen varios tipos de reenganche para la unidad direccional y para las unidades de distancia:

- *Reenganche direccional*: Tiene la misión de reenganchar la unidad que esté activa ya sea o la direccional de secuencia inversa, o la direccional de neutro.
- *Reenganche distancia1*: Dispone de un primer reenganche para las unidades monofásicas, un segundo y tercer reenganche para las unidades trifásicas.
- Todos los modelos ZLS disponen de estos tres tipos de reenganche para la distancia y sólo los modelos **ZLS J y L** disponen de reenganche para las unidades direccionales.

Para implementar esta unidad se han utilizado dos bloques RelRecl, uno para la unidad de distancia y otro para la unidad direccional. En el caso del modelo ZLS I sólo se ha usado un bloque reenganchador ya que no posee la capacidad de reenganche por unidad direccional.

Como se comentó en el modelo anterior el bloque RelRecl, no tiene señales de entrada. El primer bloque tendrá dos salidas, una de ellas conectada con “Selector Logic”, es decir la misma lógica que también conecta el fallo de fusible y las unidades de



sobreoscilación de potencia. La otra salida de este bloque conecta con otro bloque lógico, esta vez llamado “Closing Logic”.

El segundo de estos bloques tiene tres salidas, las dos primeras conectadas con la entrada bloqueo de los bloques RelIoc y RelToc de intensidad de secuencia y de neutro respectivamente, y la tercera salida conectada con el “Closing Logic” creado en el paso anterior.

## **6.9. ESQUEMAS DE TELEPROTECCION**

Los tres modelos que forman la familia ZLS disponen de cinco esquemas de teleprotección:

1. Disparo por distancia escalonada
2. Disparo por subalcance permisivo
3. Disparo por sobrealcance permisivo
4. Bloqueo del disparo por comparación direccional
5. Disparo por esquema híbrido con alimentación débil

Es posible crear otros esquemas de teleprotección definidos por el usuario, mediante las lógicas programables que incluye el relé y que se pueden programar en el modelo añadiendo señales que se podrían conectar a elementos externos al relé. Estas entradas externas pueden ser capaces de dar la orden de apertura o bloqueo del relé, siendo totalmente configurable por el usuario.

## 7. ENSAYO DE FUNCIONES

Para comprobar el funcionamiento correcto de las unidades implementadas en las dos familias de relés, se han llevado a cabo alrededor de unos ochenta ensayos para cada tipo del relé IRV, y sesenta ensayos para cada tipo de relé que compone el modelo ZLS. La totalidad de ensayos realizados asciende a setecientos cincuenta ensayos. En los sucesivos capítulos se presentan tres ensayos de cada modelo de relé, para que el lector se haga una idea del trabajo realizado.

Los ensayos que se presentan son los siguientes según el modelo:

- **IRV:**
  - Sobreintensidad instantánea y temporizada.
  - Tensión.
  - Frecuencia.
- **ZLS:**
  - Característica de distancia Mho.
  - Característica de distancia Poligonal.
  - Direccional

La red utilizada para realizar los ensayos será la representada en la Figura 40. El relé se ensaya en la ubicación indicada en rojo.

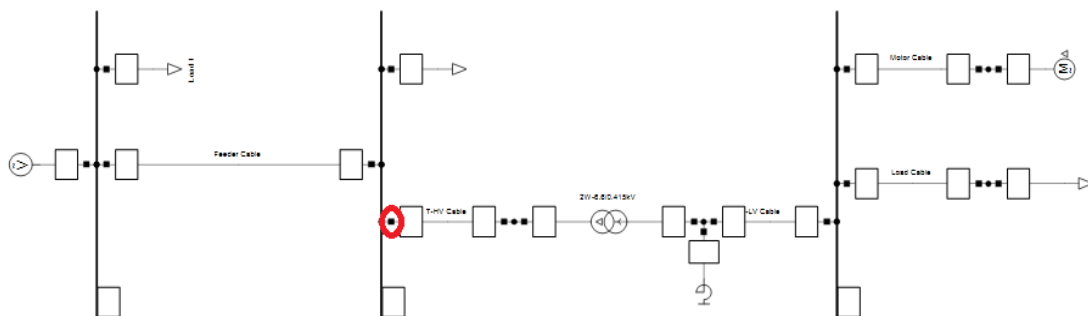


Figura 40. Red utilizada para la realización de los ensayos [22]

Para poder realizar los ensayos se ha configurado el relé junto con los transformadores de intensidad y voltaje oportunos que se asocian a los bloques StaCT(TI) y StaVT(TT) del modelo de relé.

## 7.1. ENSAYOS DE CORRIENTE

Para poder ensayar las unidades de corriente se han realizado cortocircuitos en la red y se han calculado las corrientes de cortocircuito mediante la norma IEC 60909 [7], en concreto en la línea donde está situado el relé. Como se puede ver en la Figura 41, después de realizar un cortocircuito, aparece en el diagrama unifilar de la red un “rayo”. En las cajas de texto vemos las medidas resultantes del cálculo de cortocircuitos.

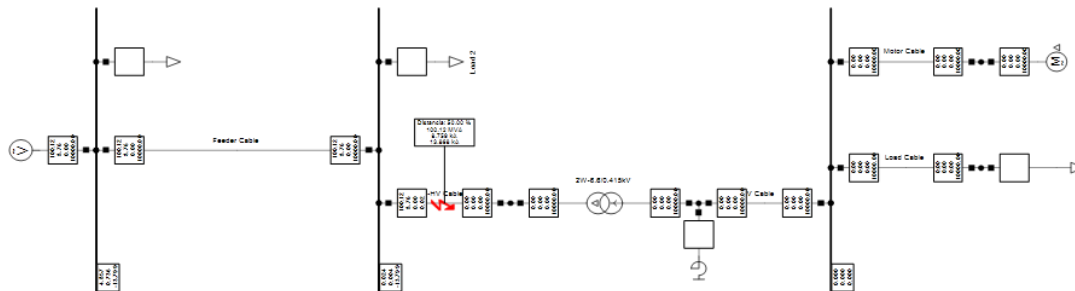


Figura 41. Representación de un cortocircuito.

Para comprobar el funcionamiento de las unidades implementadas, se realiza en primer lugar el cálculo de cortocircuitos. Después, se supervisan los resultados mediante el filtro de objetos, filtrando por tipos de objetos, RelIoc y RelToc. En la Figura 42 se pueden ver los tipos RelIoc ya filtrados. Para los tipos RelToc se repite la misma acción. Como se puede ver en la imagen, la pestaña de Datos Básicos nos muestra la ubicación dentro del relé, el número ANSI Y el símbolo IEC.

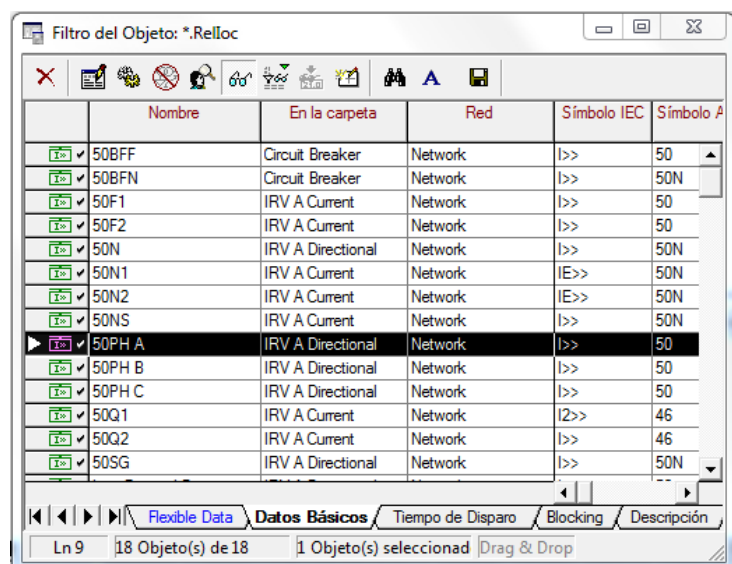


Figura 42. Ventana filtrar objeto de tipo RelIoc.

Una vez tengo la ventana con los objetos filtrados por tipo se selecciona el elemento ensayado y el usuario define un conjunto de variables específicas mediante la opción de definir un conjunto de variables. El filtro de variables que el usuario desea mostrar se



indica en la Figura 43. A partir de este filtro, el usuario puede indicar cuales son las señales del bloque que deseo visualizar. En nuestro caso, la variable de interés es la corriente medida y saber si se ha producido o no su disparo.

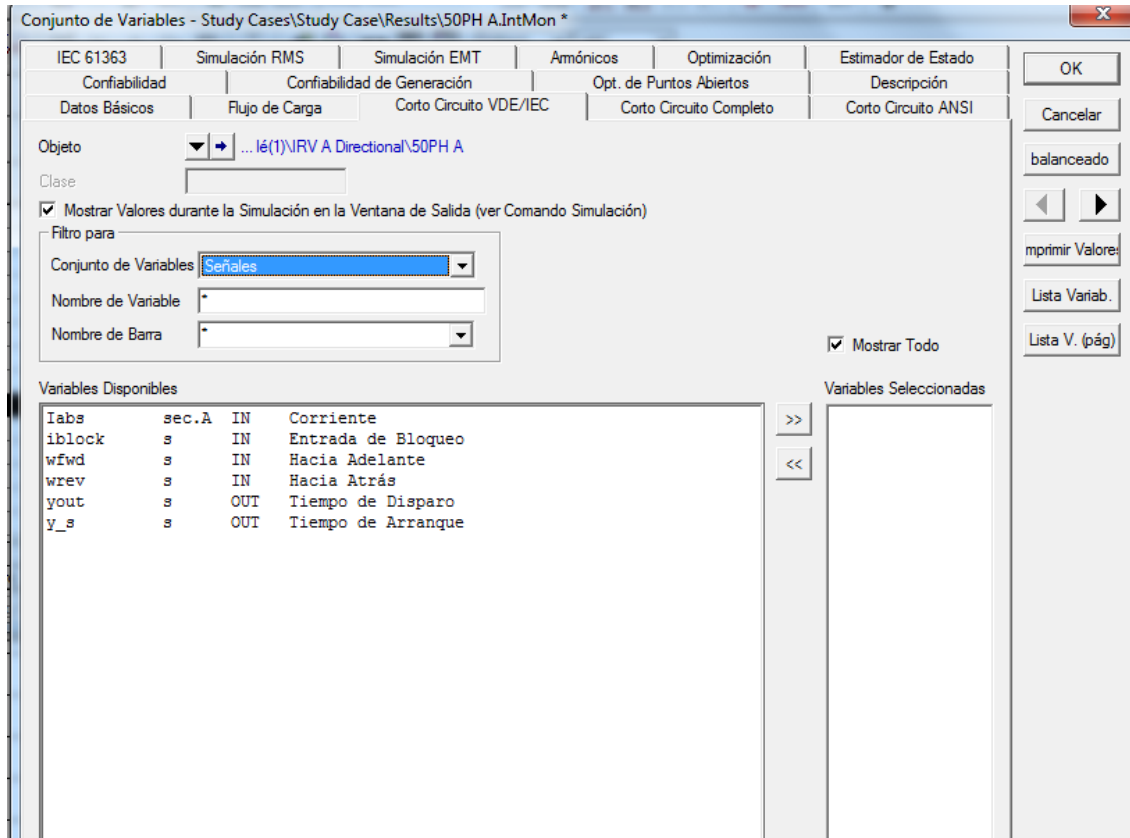


Figura 43. Definición conjunto de variables.

Una vez que definidas las señales, sus valores se pueden imprimir en la ventana de salida mediante la opción “Imprimir Valores”. La unidad ensayada en este ejemplo ha sido la unidad 50 PH A y los valores que observamos son la corriente que ha medido de cortocircuito y que ha disparado en un tiempo de 0.02 segundos, como podemos ver en la Figura 44.

```
\Demo.IntUser\IntPrj\Network Model._v14.
s:Iabs      = 134.7484    sec.A (Corriente)
s:yout      = 0.02       s   (Tiempo de Disparo)
```

Figura 44. Informe en la ventana de salida de unidad 50 PH A después del cortocircuito.

De esta manera se comprueba que la unidad implementada funciona de forma correcta. Para poder comprobar gráficamente la operación de las unidades de sobrecorriente, se debe representar la característica de disparo del relé junto con el valor de cortocircuito. Mediante clic derecho en la ubicación del relé, se pueden seleccionar la representación de las curvas tiempo-sobrecorriente.

En la Figura 45 se puede observar a la izquierda la curva de una unidad de intensidad temporizada y a la derecha la curva de intensidad instantánea. La línea vertical en ambas gráficas nos indica el valor de corriente de cortocircuito así como el tiempo de disparo de las unidades correspondientes.

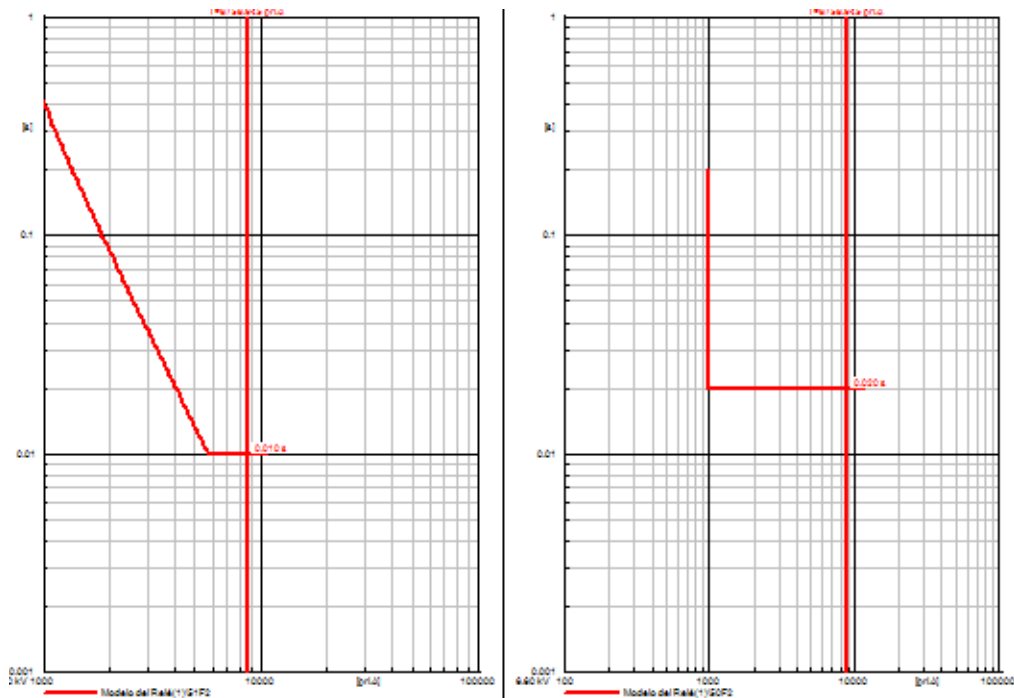


Figura 45. Representación Curvas Tiempo-Sobrecorriente (Unidades RelToc e RelIoc).

Como se puede observar en la figura, las unidades {51F2} y {50F2}, han actuado correctamente disparando el relé.

Para el ensayo de unidades de sobrecorriente instantánea monofásicas, de neutro y de secuencia inversa se han realizado cortocircuitos monofásicos y bifásicos.

Para acabar este apartado de sobreintensidad, se muestra como el usuario es capaz de cambiar las características utilizadas en las unidades temporizadas. En la siguiente imagen se puede ver la representación de la unidad de neutro {51N3} y según se seleccione del desplegable se puede elegir la característica con la que el usuario decide configurar el relé, así como los valores de ajuste y diales de tiempo.

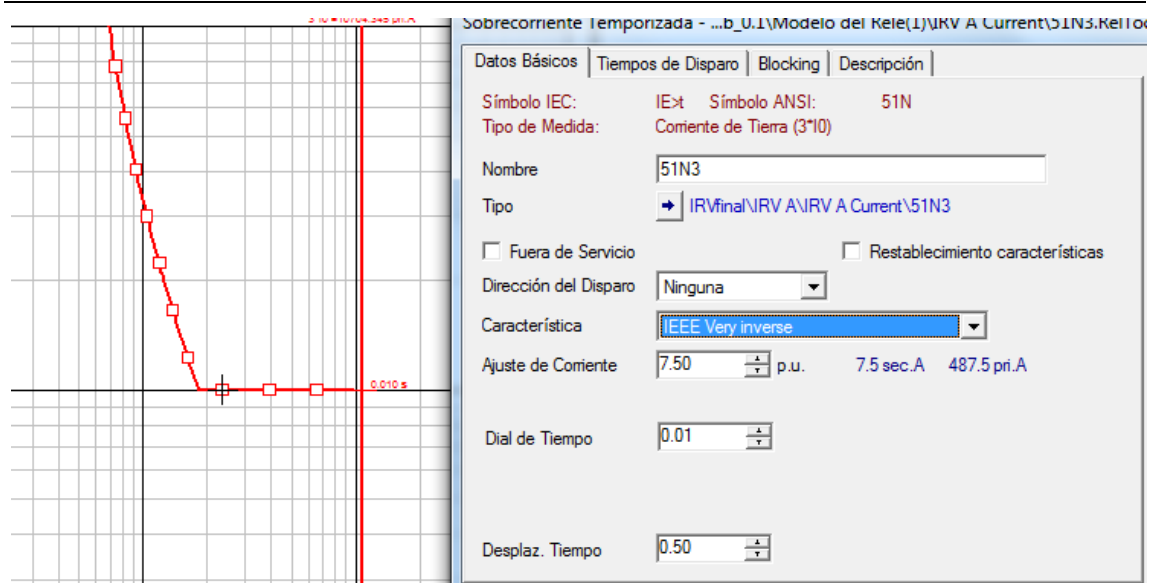


Figura 46. Ajustes de usuario de la unidad {51N3}

## 7.2. ENSAYOS DE Tensión

Para poder ensayar las unidades de tensión se han realizado simulaciones dinámicas, provocando escalones de tensión a la fuente de alimentación que representa la red externa. Los eventos de parámetro se definen en un instante de tiempo, bien de sobretensión, bien de subtenensión.

### 7.2.1. ENSAYOS DE SOBRETENSIÓN

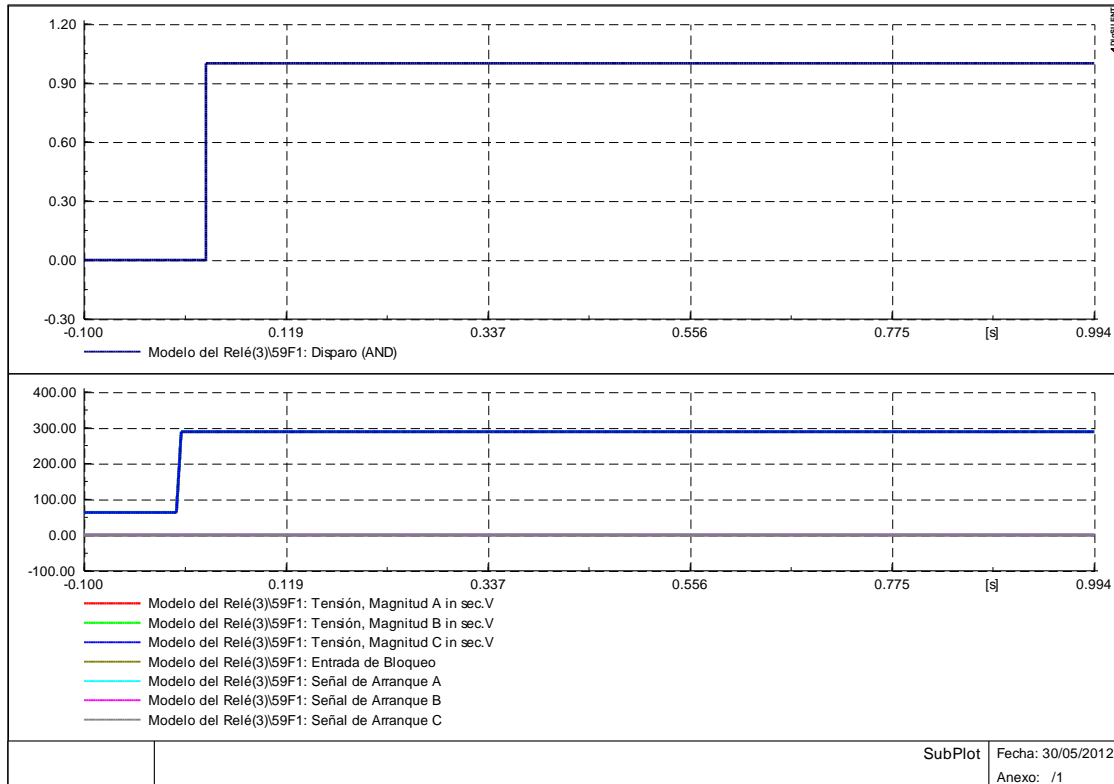


Figura 47. Ensayo Sobretensión.

Respecto a los dos gráficos de la Figura 47:

- Gráfico superior: la unidad ha disparado ya que la señal de disparo ha pasado de cero a uno.
- Gráfico inferior: se observa la tensión medida y el escalón de sobretensión en el instante  $T=0s$ .

Se puede observar que el disparo se produce después de la sobretensión. Esto es debido a que el relé tiene un tiempo de actuación, configurable por el usuario

## 7.2.2. ENSAYOS DE SUBTENSIÓN

Para realizarlo se siguen los mismos pasos que para la sobretensión, pero con un escalón de tensión negativo que reduzca la tensión en la fuente de alimentación.

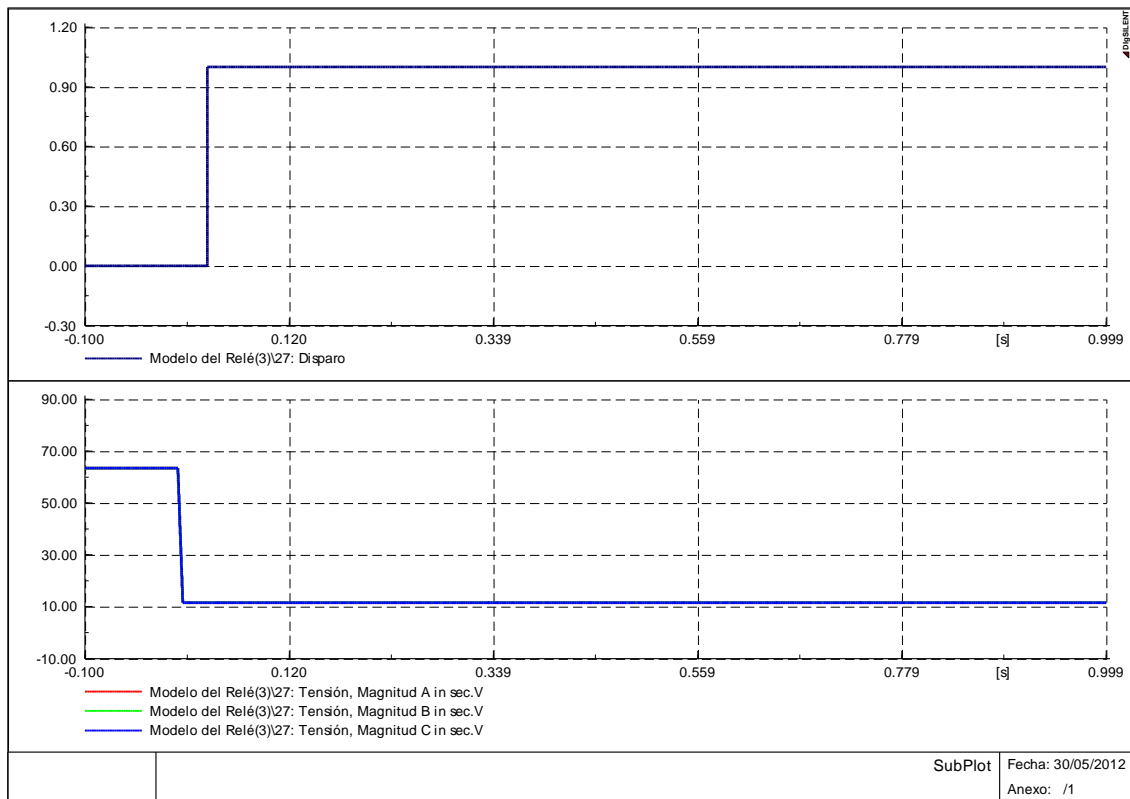


Figura 48. Ensayo Subtensión.

Respecto a los dos gráficos de la Figura 48:

- Gráfico superior: la unidad ha disparado ya que la señal de disparo ha pasado de cero a uno.
- Gráfico inferior: se observa la tensión medida y el escalón de subtensión en el instante  $T=0s$ .

Se puede observar que el disparo se produce después de la subtensión. Esto es debido a que el relé tiene un tiempo de actuación, configurable por el usuario. Como se ve el relé ha disparado por mínima tensión por lo tanto se ha validado el correcto funcionamiento de la unidad {27}.

### 7.3. ENSAYOS DE FRECUENCIA.

Se han realizado de la misma forma que para la tensión, lo único que en esta ocasión el escalón que introducimos a la fuente es sobre su frecuencia y no sobre el voltaje.

La información en gráficos será la misma que para los ensayos de tensión, es decir representando los valores medidos de la unidad y su disparo.

#### 7.3.1. ENSAYO DE SOBREFRECUENCIA

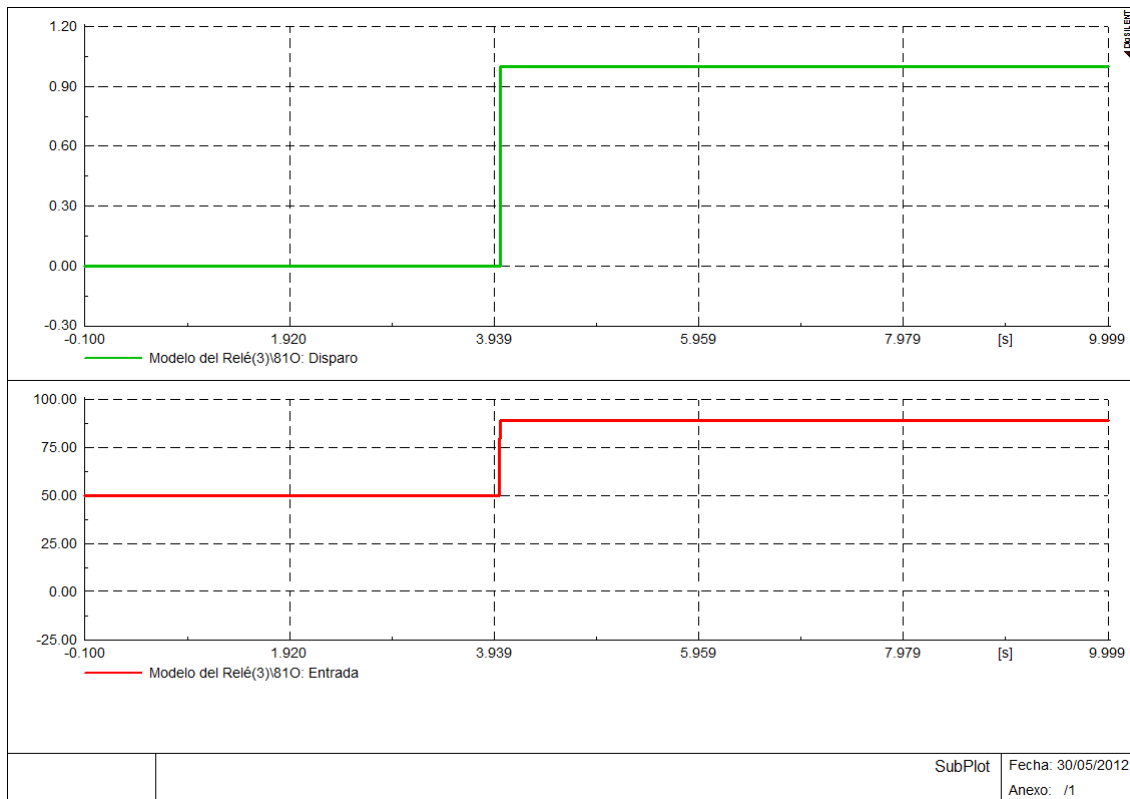


Figura 49. Ensayo de sobrefrecuencia.

Respecto a los dos gráficos de la Figura 49:

- Gráfico superior: la unidad ha disparado ya que la señal de disparo ha pasado de cero a uno.
- Gráfico inferior: se observa la frecuencia medida y el escalón de sobrefrecuencia en el instante  $T=4s$ .

Se puede comprobar en la parte de arriba de la imagen como el relé actúa correctamente disparando.

### 7.3.2. ENSAYO DE SUBFRECUENCIA

Se realiza la misma operación que para la sobrefrecuencia pero esta vez en lugar de dar un aumento de frecuencia en la fuente se provoca una disminución de 50Hz a 10 Hz.

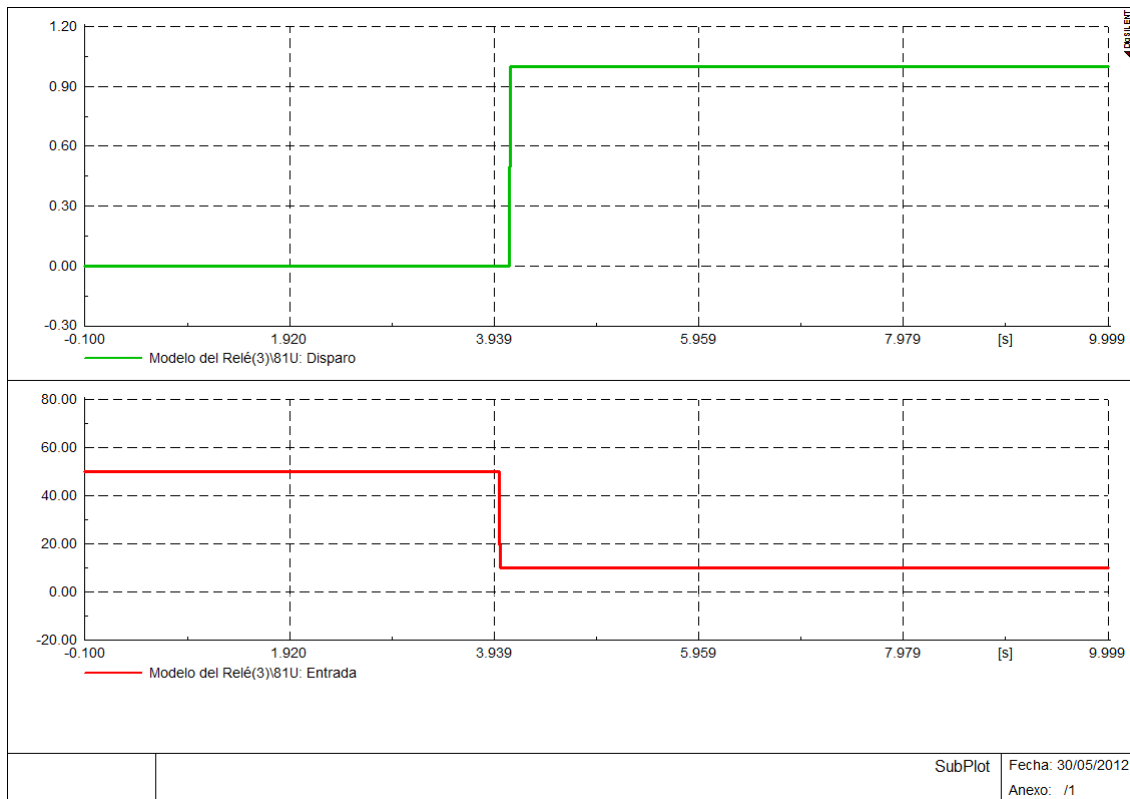


Figura 50. Ensayo de subfrecuencia.

Respecto a los dos gráficos de la Figura 50:

- Gráfico superior: la unidad ha disparado ya que la señal de disparo ha pasado de cero a uno.
- Gráfico inferior: se observa la frecuencia medida y el escalón de subfrecuencia en el instante  $T=4s$ .

Se comprueba el correcto funcionamiento de la unidad ensayada.

Todos estos ensayos citados hasta este punto han sido sobre el relé IRV A. Para los siguientes tres ensayos se ha utilizado el modelo de relé ZLS J.

## 7.4. ENSAYOS DE DISTANCIA MHO

Se representan gráficamente las cuatro zonas del relé de distancia configurado para ensayo en la Figura 51. Los modelos ZLS tienen cuatro zonas de actuación, de las cuales la cuarta mira hacia atrás.

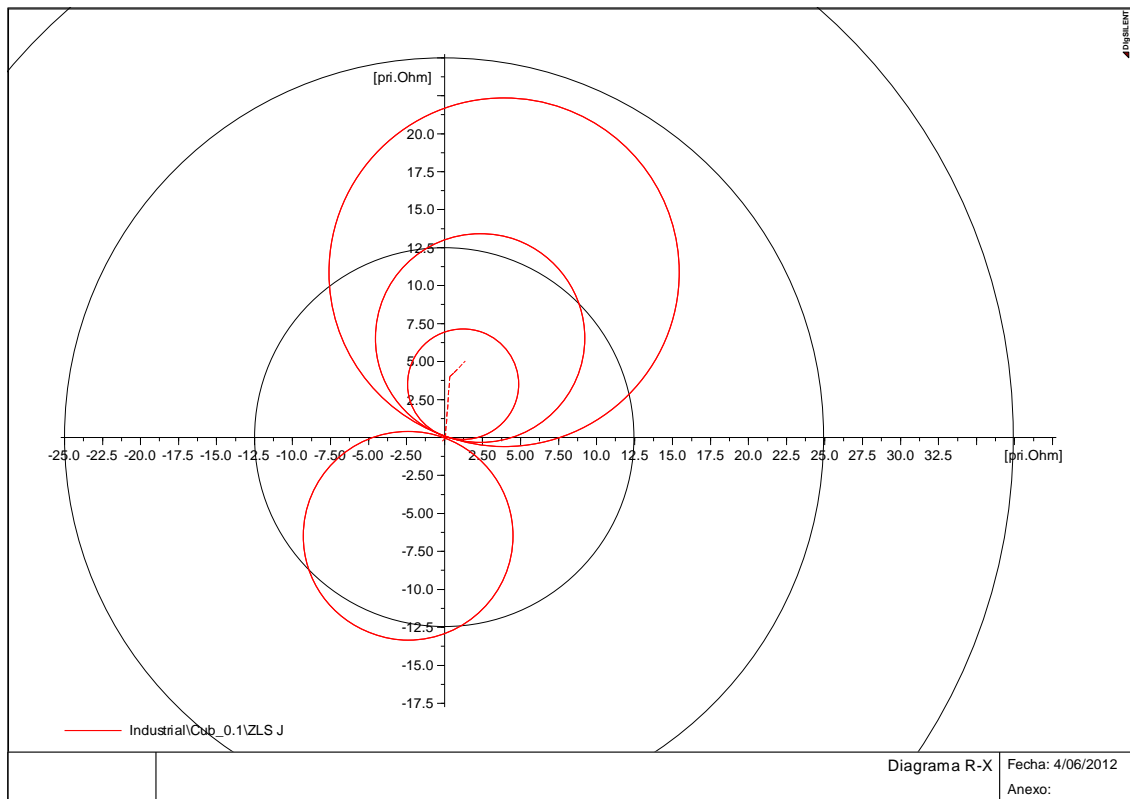


Figura 51. Representación característica Mho.

Para ensayar esta unidad, es preciso someter a la red a un cortocircuito (método IEC 60909). Según donde realicemos el cortocircuito, será detectado por una zona u otra. Las siguientes figuras muestran los disparos en las diferentes zonas.

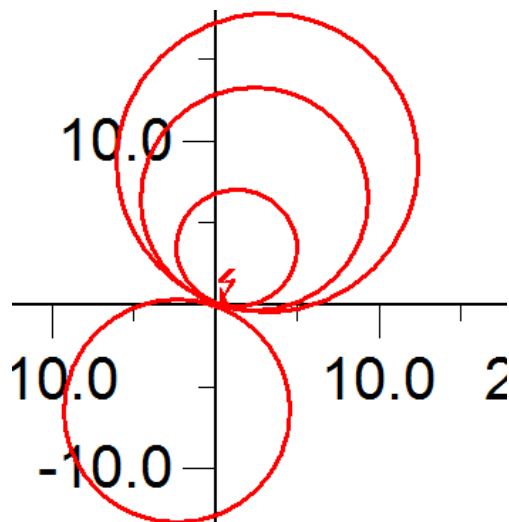


Figura 52. Falta en zona 1

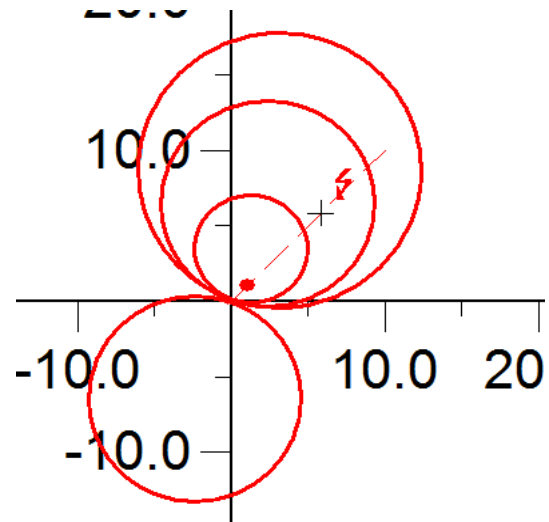


Figura 53. Falta en zona 2



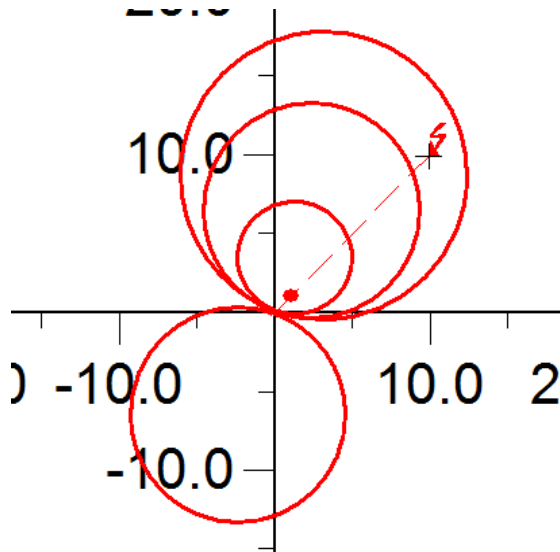


Figura 54. Falta en zona 3

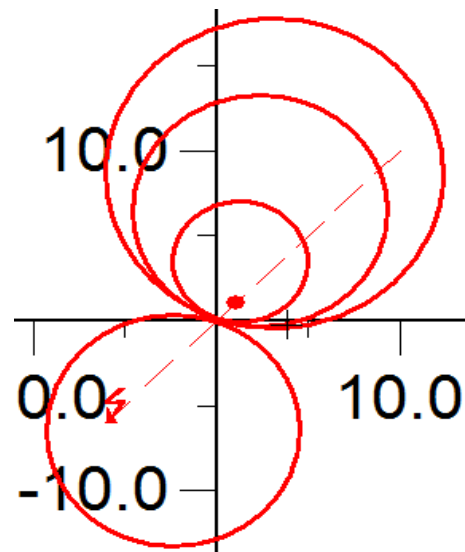


Figura 55. Falta en zona 4

Para poder observar estas cuatro posiciones de falta, se han tenido que realizar cortocircuitos en diferentes zonas de la línea y en elementos alejados de la línea. Se comprueba el correcto funcionamiento de la función.

## 7.5. ENSAYOS DE DISTANCIA POLIGONAL

La manera de realizar estos ensayos para la característica poligonal, es la misma que para la característica Mho. Lo único que se debe de tener en cuenta es que hay que desactivar los boques correspondientes a la característica Mho (viene definida por defecto) y activar los bloques de característica poligonal. Se incluye uno de los ensayos realizados.

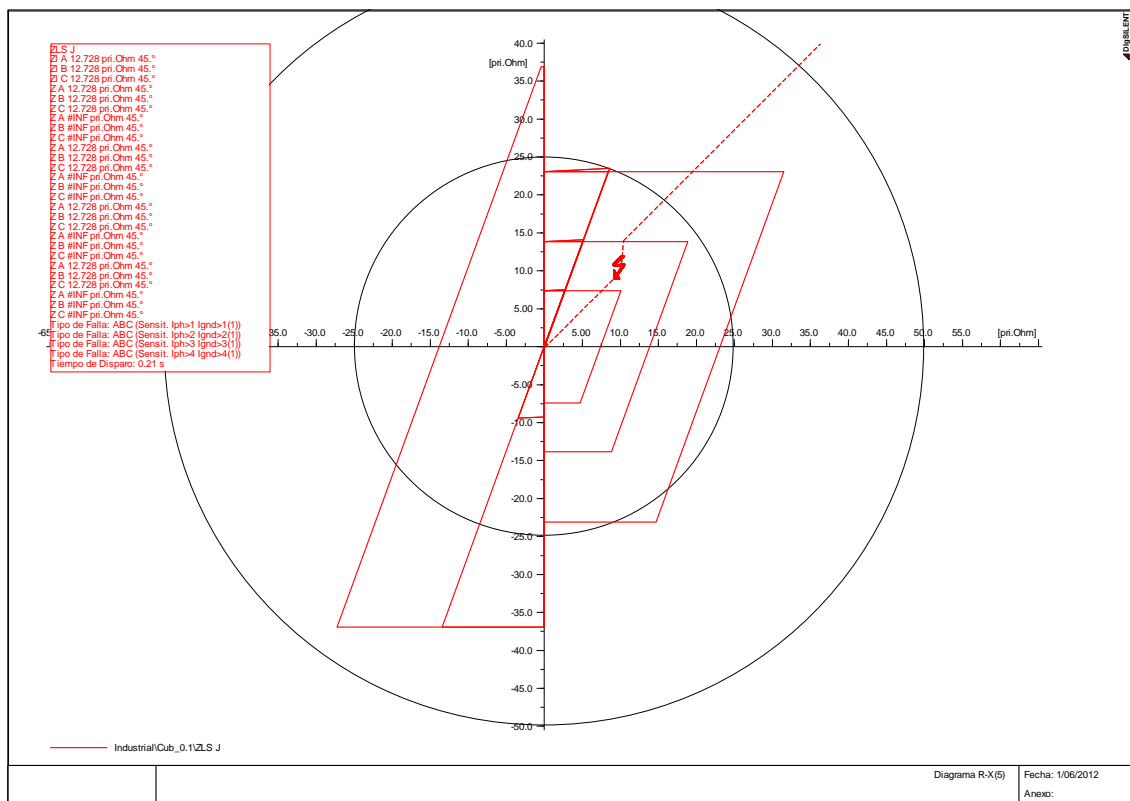


Figura 56. Falta en zona dos, característica Poligonal.

## 7.6. ENSAYOS UNIDAD DIRECCIONAL

Para la realización de estos ensayos, se somete a la red a un cortocircuito (método IEC 60909). En esta ocasión, se realiza un cortocircuito monofásico al cincuenta por ciento de la línea donde está situado el relé, para poder verificar la detección de faltas desequilibradas.

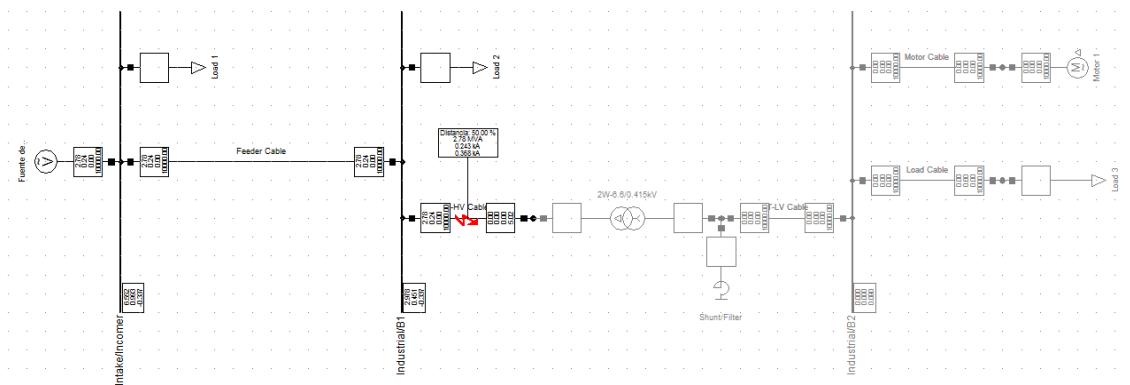


Figura 57. Cortocircuito para ensayar unidad direccional.

Al igual que con los ensayos de sobrecorriente, se visualizan en la ventana de salida los valores de las señales del relé.



### Trabajo Fin de Grado:

Protecciones Eléctricas en DIgSILENT PowerFactory  
Modelos de fabricantes españoles (I)

s:yout	= 0.02	s	(Tiempo de Disparo)
s:yout_A	= 0.02	s	(Tiempo de Disparo)
s:yout_B	= 0.02	s	(Tiempo de Disparo)
s:yout_C	= 0.02	s	(Tiempo de Disparo)
s:fwd_A	= 0.02	s	(Hacia Adelante)
s:fwd_B	= 0.02	s	(Hacia Adelante)
s:fwd_C	= 0.02	s	(Hacia Adelante)
s:rev_A	= 9999.999	s	(Hacia Atrás)
s:rev_B	= 9999.999	s	(Hacia Atrás)
s:rev_C	= 9999.999	s	(Hacia Atrás)
s:yIop_A	= 5.854888	sec.A	(Corriente de Operación, Magnitud)
s:yIop_B	= 5.854888	sec.A	(Corriente de Operación, Magnitud)
s:yIop_C	= 5.854888	sec.A	(Corriente de Operación, Magnitud)

Figura58. Informes de unidad direccional

En donde se puede comprobar el correcto funcionamiento de esta unidad direccional, ya que está disparando en un tiempo de 0.02 seg e indica que la falta se produce hacia adelante.

Para ensayar la direccionalidad hacia atrás, se obtendría el mismo resultado pero con el valor de tiempo de dispara hacia atrás.

## 8. STATIONWARE

StationWare es una aplicación web en torno a una base de datos perteneciente a la empresa DIgSILENT que permite almacenar ficheros de ajustes de protecciones, intercambiarlos con PowerFactory para diseñar los ajustes o recalcularlos, y evita el uso de complejos software de fabricante para poder intercambiar información con el relé. StationWare permite gestionar el ciclo de vida de la protección, desde que se recibe en la empresa, se ensaya, hasta que se instala en subestación y se realiza la puesta en marcha. StationWare utiliza tecnología .NET.

La idea de StationWare, es que el propietario de la instalación pueda estar en contacto directo con la configuración de su relé en cualquier lugar siempre y cuando posea conexión a internet. Es posible trabajar sin línea. Se pueden realizar varias actuaciones sobre el relé como actualizar los parámetros de ajustes de dicho relé, revisar un ajuste actual, consultar información, etc. No es posible conectar directamente con el relé y modificar sus ajustes. Este tipo de acciones requiere varios niveles de permisos así como un operador que se desplace a la ubicación del relé y realice las modificaciones.

Este programa permite cargar los archivos de ajustes generados por el relé y que generalmente necesitan del software de fabricante para poder modificarlos y tratarlos. En mi caso el comerciante español ZIV, el software que utiliza es denominado ZIVERCOMPLUS [20].

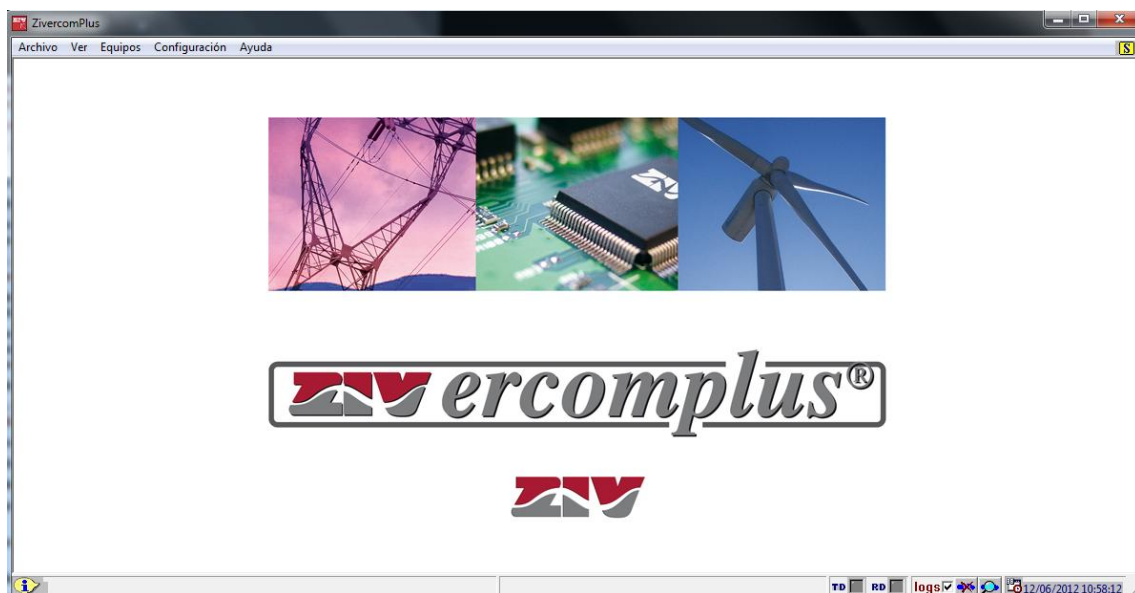


Figura 59: Pantallazo del software de ZIV

El inconveniente encontrado en este punto ha sido la ausencia de datos para el modelo ZLS. El único modelo agregado al programa StationWare ha sido IRV.



## Trabajo Fin de Grado:

Protecciones Eléctricas en DIGSILENT PowerFactory  
Modelos de fabricantes españoles (I)

Para poder integrar este modelo en el programa StationWare, lo primero que se ha realizado es obtener un fichero de parámetros de ajuste generado a partir del software de fabricantes. Mediante el programa ZiverCom Plus, se han obtenido estos ficheros de ajustes, siete ficheros para cada tipo de relé (uno para cada modelo, no siempre son los mismos, esto dependerá del modelo). Al ser un relé multifuncional, en el mejor de los casos el número de ajustes a exportar han sido doscientos cincuenta parámetros.

Para conocer el nombre de los parámetros que se deben exportar a StationWare, es necesario exportar los ajustes del ZiverCom. Estos se exportan en lenguaje XML, pudiendo ser leídos en Excel. En una primera fase se han ordenado los ajustes que se necesitan intercambiar entre ambas plataformas:

Temporizado de Fases	Unidad 1	Ajustes	IAJSHABTEMPF1	Permiso Temp Fase
Temporizado de Fases	Unidad 1	Ajustes	IAJSARRTEMPF1	Arranque Temp Fase
Temporizado de Fases	Unidad 1	Ajustes	IAJSCURVATEMPF1	Curva Temp Fase
Temporizado de Fases	Unidad 1	Ajustes	IAJSDIALTEMPF1	Indice Temp Fase
Temporizado de Fases	Unidad 1	Ajustes	IAJSTEMPTMPF1	Tiempo Fijo Fase
Temporizado de Fases	Unidad 1	Ajustes	IAJSCTRLPARTEMPF1	Cntr Par Tem Fase
Temporizado de Fases	Unidad 2	Ajustes	IAJSHABTEMPF2	Permiso Temp Fase
Temporizado de Fases	Unidad 2	Ajustes	IAJSARRTEMPF2	Arranque Temp Fase
Temporizado de Fases	Unidad 2	Ajustes	IAJSCURVATEMPF2	Curva Temp Fase
Temporizado de Fases	Unidad 2	Ajustes	IAJSDIALTEMPF2	Indice Temp Fase
Temporizado de Fases	Unidad 2	Ajustes	IAJSTEMPTMPF2	Tiempo Fijo Fase
Temporizado de Fases	Unidad 2	Ajustes	IAJSCTRLPARTEMPF2	Cntr Par Tem Fase
Temporizado de Fases	Unidad 3	Ajustes	IAJSHABTEMPF3	Permiso Temp Fase
Temporizado de Fases	Unidad 3	Ajustes	IAJSARRTEMPF3	Arranque Temp Fase
Temporizado de Fases	Unidad 3	Ajustes	IAJSCURVATEMPF3	Curva Temp Fase
Temporizado de Fases	Unidad 3	Ajustes	IAJSDIALTEMPF3	Indice Temp Fase
Temporizado de Fases	Unidad 3	Ajustes	IAJSTEMPTMPF3	Tiempo Fijo Fase
Temporizado de Fases	Unidad 3	Ajustes	IAJSCTRLPARTEMPF3	Cntr Par Tem Fase

Figura 60: Fichero de intercambio de ajustes

En la Figura 60, por ejemplo “IAJSHABTEMPF1” pertenece a la protección de sobreintensidad, tipo temporizada de fases y lo que va a exportar es el permiso.

Una vez realizado el primer paso, se configura una aplicación en lenguaje DPL para exportar desde PowerFactory a StationWare o importar desde StationWare o desde el fichero de ajustes de fabricante, los ajustes del relé. En la siguiente imagen se puede ver como se ha implementado en PowerFactory lo mismo que había en el fichero Excel del primer paso.



## Trabajo Fin de Grado:

### Protecciones Eléctricas en DIgSILENT PowerFactory

#### Modelos de fabricantes españoles (I)

	Tipo	Nombre	Valor	Unidad	Descripción
1		IAJSHABTEMPF1	1.0	Unidad 1	Temporizado de Fases
2		IAJSARRTEMPF1		Unidad 1	Temporizado de Fases
3		IAJSCURVATEMPF1		Unidad 1	Temporizado de Fases
4		IAJSDIALTEMPF1		Unidad 1	Temporizado de Fases
5		IAJSTEMPTMPF1		Unidad 1	Temporizado de Fases
6		IAJCTRLPARTEMPF		Unidad 1	Temporizado de Fases
7		IAJSHABTEMPF2		Unidad 2	Temporizado de Fases
8		IAJSARRTEMPF2		Unidad 2	Temporizado de Fases
9		IAJSCURVATEMPF2		Unidad 2	Temporizado de Fases
10		IAJSDIALTEMPF2		Unidad 2	Temporizado de Fases
11		IAJSTEMPTMPF2		Unidad 2	Temporizado de Fases
12		IAJCTRLPARTEMPF		Unidad 2	Temporizado de Fases

	Nombre	Objeto	Descripción
1	Relay		

Figura 61: Comando DPL para interfaz StationWare

Una vez definidos todos los ajustes en la pestaña Opciones Básicas, se debe programar el interfaz en la pestaña Escrito. No se muestra ninguna imagen de código fuente debido a acuerdos de confidencialidad con la empresa DIgSILENT.

A continuación se crean los diferentes modelos de relés en la base de datos StationWare [21] para que se pueda realizar su posterior exportación o importación, es decir poder mandar datos o bien modificados de PowerFactory a StationWare, como de StationWare a PowerFactory.

#### Reportes

Nombre	Descripción
Lista simple de locaciones	Crear una lista de todas las locaciones. Opcionalmente se puede especificar una locación base
Reporte sencillo de ajustes	Crear un reporte sobre todos los parámetros de ajuste
Ajustes alternativos	Mostrar los parámetros de ajuste de manera alternativa (ideal para textos largos)
Cambios de ajustes	Enumerar las diferencias entre los ajustes actuales y los que están siendo aplicados
Reporte sencillo de dispositivo	Mostrar los dispositivos con sus ajustes
Reporte alternativo de dispositivo	Lista alternativa de detalles de un cierto dispositivo
Búsqueda avanzada	Crear un reporte como una búsqueda avanzada
Reporte flexible	Reporte basado en código definido por el usuario
Dispositivos en un cierto nivel	Dispositivos en un cierto nivel
Reporte de estado total	Vista tabular de objetos tales como dispositivos y locaciones
Búsqueda histórica	Lists the items according to the timestamp specified
Reporte de seguimiento retrospectivo	Lista de entradas en seguimiento retrospectivo dentro de cierta locación y periodo de tiempo
Dispositivo en uso	Enumerar dispositivos de acuerdo al tipo
Muestras en uso	Enumerar las muestras de acuerdo al tipo
Uso de tipos de dispositivos	Mostrar el número de dispositivos de uno o varios tipos
Device type usage grouped by location type	Shows all instances of a given device type. The result is grouped by a location type.
Uso de muestras	Mostrar el número de usos de un determinado tipo de patrón

Figura 62: Lista de informes de StationWare

La Figura 62 muestra la web StationWare, con las opciones que el usuario puede consultar sobre el relé.



## 9. PRESUPUESTO



**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

**Escuela Politécnica Superior**



### **PRESUPUESTO DE PROYECTO**

1.- Autor: VICTOR RODRIGUEZ FERRERO

2.- Departamento: INGENIERÍA ELÉCTRICA

- Título :PROTECCIONES ELECTRICAS EN DIgSILENT POWERFACTORY
- Duración (meses): 5 MESES

4.- Presupuesto total del Proyecto (valores en Euros):

**27.955 €**

5.- Desglose presupuestario (costes directos)



## 5.- Desglose presupuestario (costes directos)

### INGENIERO DEL PROYECTO

Concepto	Dedicación horas/hombre [horas]	Coste [horas]	Coste [total]
Investigación bibliográfica	70horas (Horas Ingeniería Junior)	40€	2.800€
Implementación, Ensayos y Afinación en DIgSILENT PowerFactory	240horas (Horas Ingeniería Junior)	40€	9.600€
Elaboración de documentación	50horas (Horas Ingeniería Junior)	40€	2.000€
		<b>Total</b>	<b>14.400€</b>

### EQUIPOS/SOFTWARES

Concepto	Dedicación (meses)	Coste [hora]	Coste [Total]
Programa de simulación DIgSILENT PowerFactory Licencia de la Universidad Carlos III Madrid (PowerFactory For Education)	5meses	-	250€
Equipo informático - PC Portátil	5 meses	-	1.000€
		<b>Total</b>	<b>1.250€</b>

### SUBCONTRATACIÓN DE TAREAS

Descripción	Coste imputable
-	-
	0€

### OTROS COSTES DIRECTOS DEL PROYECTO

Concepto	Dedicación horas/hombre [horas]	Coste [hora]	Coste [Total]
Formación PowerFactory	24.5horas (Horas Formación)	90€	2.200€
Tutorías	50horas (Horas Ingeniería senior)	90€	4.500€
		<b>Total</b>	<b>6.700€</b>

## 6.- Resumen de costes





### Trabajo Fin de Grado:

Protecciones Eléctricas en DIgSILENT PowerFactory  
Modelos de fabricantes españoles (I)

#### Presupuesto Costes

Descripción	Coste imputable
Ingeniero del proyecto	14.400€
Equipos/Software	1.250€
Subcontratación de tareas	0€
Otros costes	6.700€
<b>Total</b>	<b>22.350€</b>

#### Presupuesto Costes Totales

Total Presupuesto	Coste [total]
Total Presupuesto	22.350€
Beneficio Industrial (6%)	1.341€
Subtotal	23.691€
18% I.V.A	4.264€
<b>Total Presupuesto Proyecto</b>	<b>27.955€</b>

“El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de veintisiete mil novecientos cincuenta y cinco euros”

Leganés a 01 de junio de 2012

El ingeniero proyectista

Fdo. Víctor Rodríguez Ferrero.



## 10. CONCLUSIÓN

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado ha sido realizar la implementación en DIgSILENT PowerFactory de dos tipos de relés, correspondientes a los modelos IRV y ZLS del fabricante español ZIV. Los modelos se han implementado y se han realizado ensayos para validar y demostrar su correcta actuación. De forma adicional y debido a la buena marcha de los trabajos, se ha completado el proyecto con la programación de funciones interfaz con el entorno StationWare, que inicialmente estaba fuera del alcance del proyecto.

Como conclusión a mi trabajo, es interesante destacar la flexibilidad del software a la hora de traducir la complejidad de los relés multifunción. Los relés sobre los que he trabajado del fabricante ZIV se anuncian como específicos de sobrecorriente y distancia, pero la realidad es que implementan ambas funciones adicionales de tensión, frecuencia, lógicas de bloqueo, etc. que complica mucho la labor de modelización. Me parece interesante destacar la ventaja de trabajar con los tipos de librería que el programa ya incorpora por defecto y que han permitido implementar el 95% de las funciones que indicaba el fabricante en sus catálogos. El restante 5% corresponde a bloques poco estandarizados. Estos algoritmos se han conseguido implementar mediante bloques lógicos definidos por el usuario, lo cual pone de manifiesto la flexibilidad del programa a la hora de programar funcionalidades y lógicas especiales.

Con la realización de este proyecto, he tenido la oportunidad de poder emplear el software DIgSILENT PowerFactory, además de poder ampliar mis conocimientos sobre el mundo de las protecciones eléctricas, que muchas veces no se les da la importancia que merecen. Realmente son dispositivos clave para el sistema eléctrico, puesto que un fallo de un relé podría suponer grandes incidencias.



---

## 11. REFERENCIAS

- [1] Figura del relé ARGUS M7 SR21, PowerFactory.
- [2] Ajustes bloque RelMeasure, PowerFactory.
- [3] Curva ANSI, <http://www.gedigitalenergy.com/products/drawings/735737/803662A4.pdf>
- [4] Ajustes del bloque RelChar. PowerFactory.
- [5] Ajustes del bloque RelUlim. PowerFactory.
- [6] Configuración de bloque RelLogic. PowerFactory.
- [7] Definición IRV <http://www.gridautomation.ziv.es/ziv/distribution/IRV.html>
- [8] Definición ZLS <http://www.gridautomation.ziv.es/ziv/transmission/ZLS.html>
- [9] Números ANSI. [http://en.wikipedia.org/wiki/ANSI\\_Device\\_Numbers](http://en.wikipedia.org/wiki/ANSI_Device_Numbers)
- [10] Plantilla selección de modelo. Obtenida del manual ZLS.
- [11] Curva RI inversa manual IRV
- [12] Unidad salto de vector 3.12 del manual <http://www.gridautomation.ziv.es/doc-downloads/literature/manuals/BIRV1203Av00.pdf>
- [13] Unidad salto de vector 3.12 del manual <http://www.gridautomation.ziv.es/doc-downloads/literature/manuals/BIRV1203Av00.pdf>
- [14] Unidad salto de vector 3.12 del manual <http://www.gridautomation.ziv.es/doc-downloads/literature/manuals/BIRV1203Av00.pdf>
- [15] Unidad de imagen térmica, obtenida de manual IRV
- [16] Curva de imagen térmica. PowerFactory
- [17] Definición ZLS <http://www.gridautomation.ziv.es/ziv/transmission/ZLS.html>
- [18] Oscilación de potencia ZLS 6.6.5 <http://www.gridautomation.ziv.es/doc-downloads/literature/manuals/BZLS301Jv01.pdf>
- [19] Característica de imagen térmica PowerFactory.
- [20] Información programa ZiverCom Plus  
<http://www.gridautomation.ziv.es/ziv/software/ZIVERCOMPLUS.html>
- [21] Web StationWare <http://stationware.digsilent.de/>
- [22] “Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. Parte 4: Ejemplos para el cálculo de corrientes de cortocircuito”. Norma UNE 21239-4 IN (equivalente al Informe Técnico CEI/TR 60909-4:2000)



---

## ANEXO I: NUMEROS ANSI / ANSI DEVICE NUMBERS

El objetivo de la numeración internacional ANSI es denotar funciones eléctricas mediante un número. Hasta el momento hay definidos noventa y nueve números y dieciocho acrónimos. Los números están comprendidos desde el uno hasta el noventa y nueve (los cinco últimos están todavía sin adjudicación de función). Diecisiete de los acrónimos están formados por tres letras y el restante por cuatro letras. Se adjunta la lista de números ANSI:

1. Elemento principal.
2. Discordancia de polos.
3. Relé de comprobación o de bloqueo.
4. Contacto principal.
5. Dispositivo de parada.
6. Interruptor de arranque.
7. Interruptor de ánodo.
8. Dispositivo de desconexión de energía de control.
9. Dispositivo de inversión.
10. Conmutador de secuencia.
11. Dispositivo multifunción.
12. Dispositivo de exceso de velocidad.
13. Dispositivo de velocidad síncrona.
14. Dispositivo de falta de velocidad.
15. Dispositivo regulador de velocidad o frecuencia.
16. Dispositivo comunicación de datos.
17. Derivación o interruptor de descarga.
18. Dispositivo de aceleración o declaración.
19. Contactos de transición de arranque a marcha normal.
20. Válvula maniobrada eléctricamente.
21. Relé de distancia.
22. Interruptor igualador.
23. Dispositivo regulador de temperatura.
24. Sobre excitación.
25. Dispositivo de sincronización o puesta en paralelo.
26. Dispositivo térmico.
27. Relé de mínima tensión.
28. Detector de llama.
29. Contactador de aislamiento.
30. Relé anunciador.
31. Dispositivo de excitación separada.
32. Relé direccional de potencia.
33. Conmutador de posición.
34. Conmutador de secuencia movido a motor.
35. Dispositivo de cortocircuito de las escobillas o anillos rozantes.
36. Dispositivo de polaridad.
37. Relé de baja intensidad o baja potencia.
38. Dispositivo térmico de cojinetes.
39. Detector de condiciones mecánicas.
40. Relé de campo.



### Trabajo Fin de Grado:

Protecciones Eléctricas en DIgSILENT PowerFactory  
Modelos de fabricantes españoles (I)

---

41. Interruptor de campo.
42. Interruptor de marcha.
43. Dispositivo de transferencia.
44. Relé de secuencia de arranque del grupo.
45. Detector de condiciones atmosféricas.
46. Relé de intensidad para equilibrio o inversión de fases.
47. Relé de tensión para secuencia de fase.
48. Relé de secuencia incompleta.
49. Relé térmico para máquina, aparato o transformador.
50. Relé instantáneo de sobre intensidad o de velocidad de aumento de intensidad.
51. Relé de sobreintensidad temporizado.
52. Interruptor de c.a.
53. Relé de la excitatriz o del generador de c.c
54. Reservado para aplicaciones futuras.
55. Relé de factor de potencia.
56. Relé de aplicación del campo.
57. Dispositivo de cortocircuito o de puesta a tierra.
58. Relé de fallo de rectificador de potencia.
59. Relé de sobretensión.
60. Relé de equilibrio de tensión.
61. Relé de parada o apertura temporizada.
62. Reservado para aplicaciones futuras.
63. Relé de presión de gas, líquido o vacío.
64. Relé de protección de tierra.
65. Regulador mecánico.
66. Relé de pasos.
67. Relé direccional de sobreintensidad de c.a.
68. Relé de bloqueo.
69. Dispositivo de supervisión y control.
70. Reóstato.
71. Relé de nivel líquido o gaseoso.
72. Interruptor de c.c.
73. Contactor de resistencia de carga.
74. Relé de alarma.
75. Mecanismo de cambio de posición.
76. Relé de sobreintensidad de c.c.
77. Transmisor de impulsos.
78. Relé de medio de ángulo de desfase o de protección de salida de paralelo.
79. Relé de reenganche c.a.
80. Relé de flujo líquido o gaseoso.
81. Relé de frecuencia.
82. Relé de reenganche de c.c.
83. Relé de selección o transferencia del control automático
84. Mecanismo de accionamiento.
85. Relé receptor de ondas portadoras o hilo piloto.
86. Relé de enclavamiento.
87. Relé de protección diferencial.
88. Motor o grupo motor generador auxiliar.
89. Desconectador de línea.



### Trabajo Fin de Grado:

Protecciones Eléctricas en DIgSILENT PowerFactory  
Modelos de fabricantes españoles (I)

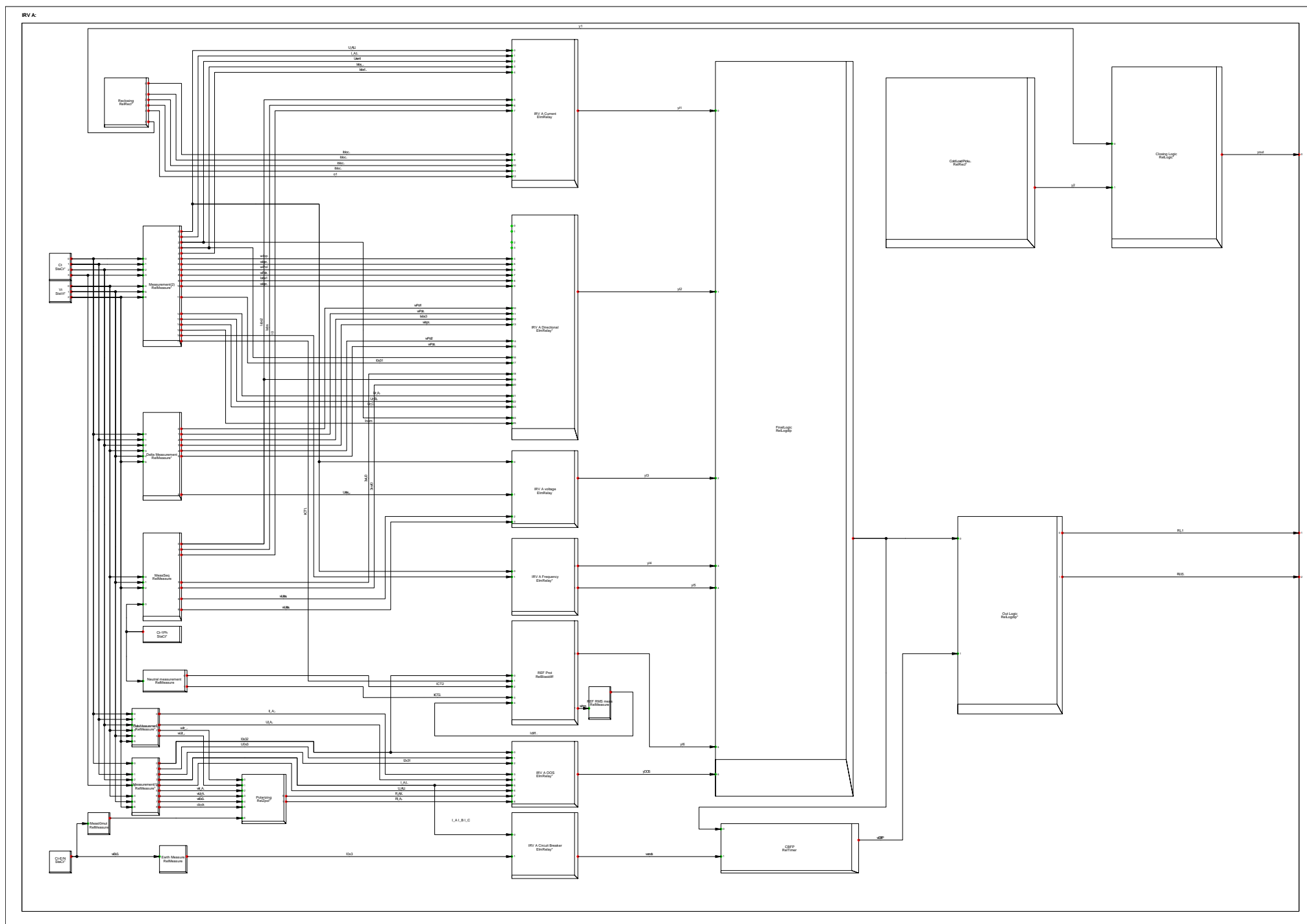
---

- 90. Dispositivo de regulación.
- 91. Relé direccional de tensión.
- 92. Relé direccional de tensión y potencia
- 93. Contador de cambio de campo.
- 94. Relé de disparo o disparo libre.
- 95.-99. Reservado para aplicaciones especiales.

AFD. Detector de arco.  
CLK. Fuente de tiempo principal.  
DDR. Registrador dinámico de perturbaciones.  
DFR. Registrador digital de faltas.  
ENV. Datos ambiente.  
HIZ. Detector de Falta con impedancia alta.  
HMI. Interfaz hombre-máquina.  
HST. Histórico.  
LGC. Esquema Lógico.  
MET. Subestación de medición.  
PDC. Realizador de datos fasoriales.  
PMU. Unidad de medición fasorial.  
PQM. Monitor de calidad de potencia.  
RIO. Dispositivo remoto de entrada/salida  
RTU. Unidad datos/terminales Remota  
SER. Grabador secuencia de eventos.  
TCM. Monitor circuito de disparo  
SOTF. Cambiador en falta

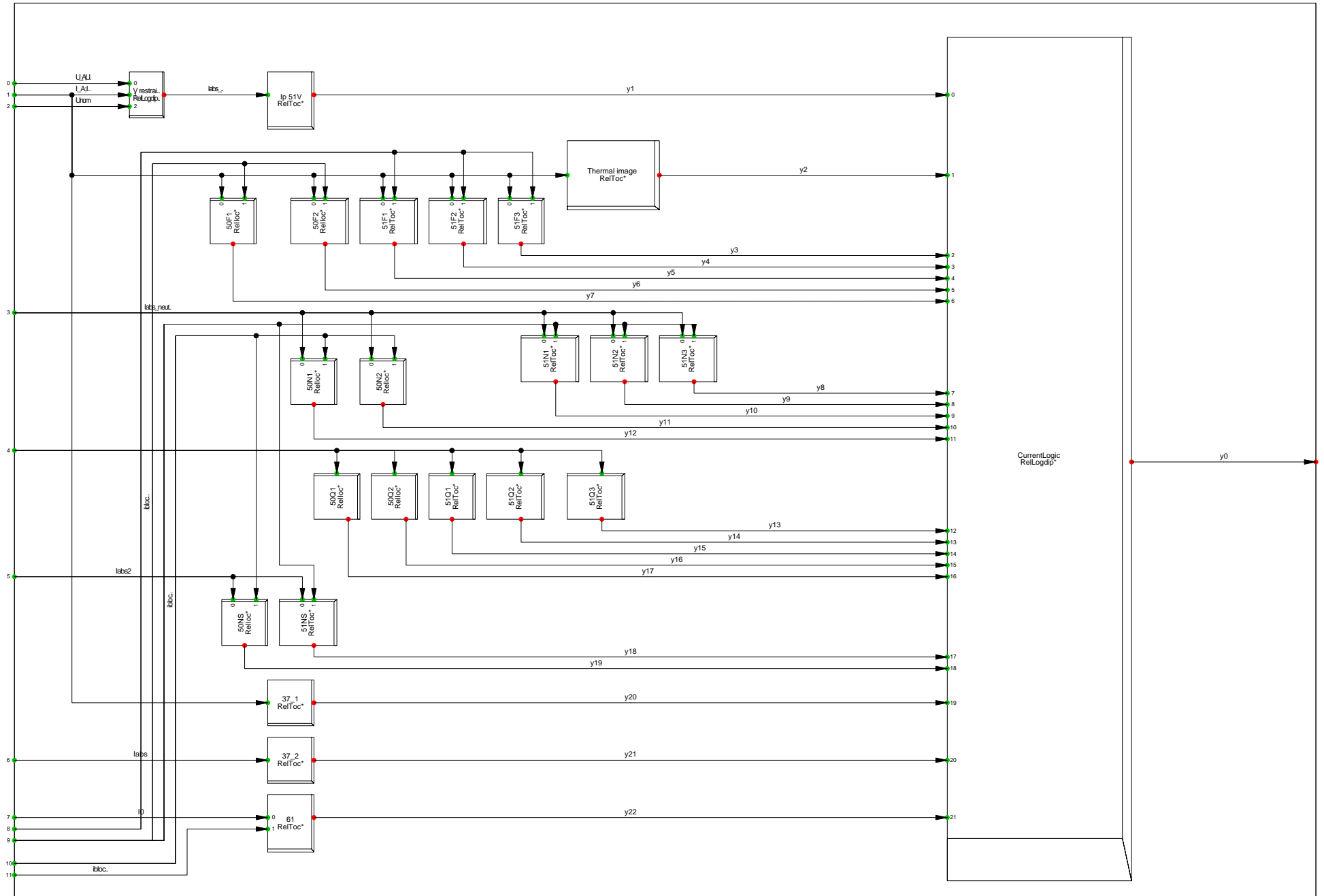


## **ANEXO II: DIAGRAMAS DE BLOQUES EN DIgSILENT PowerFactory**

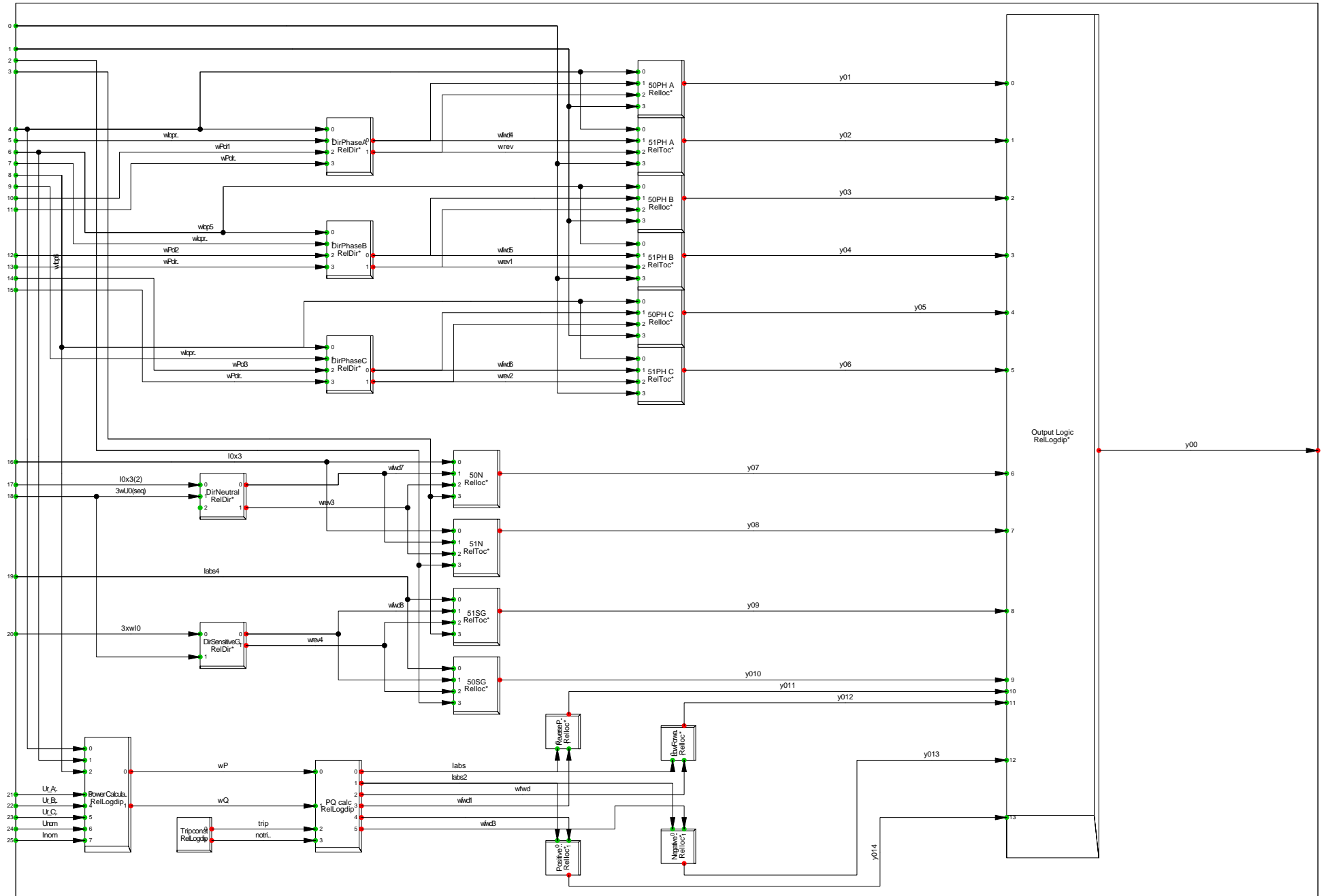




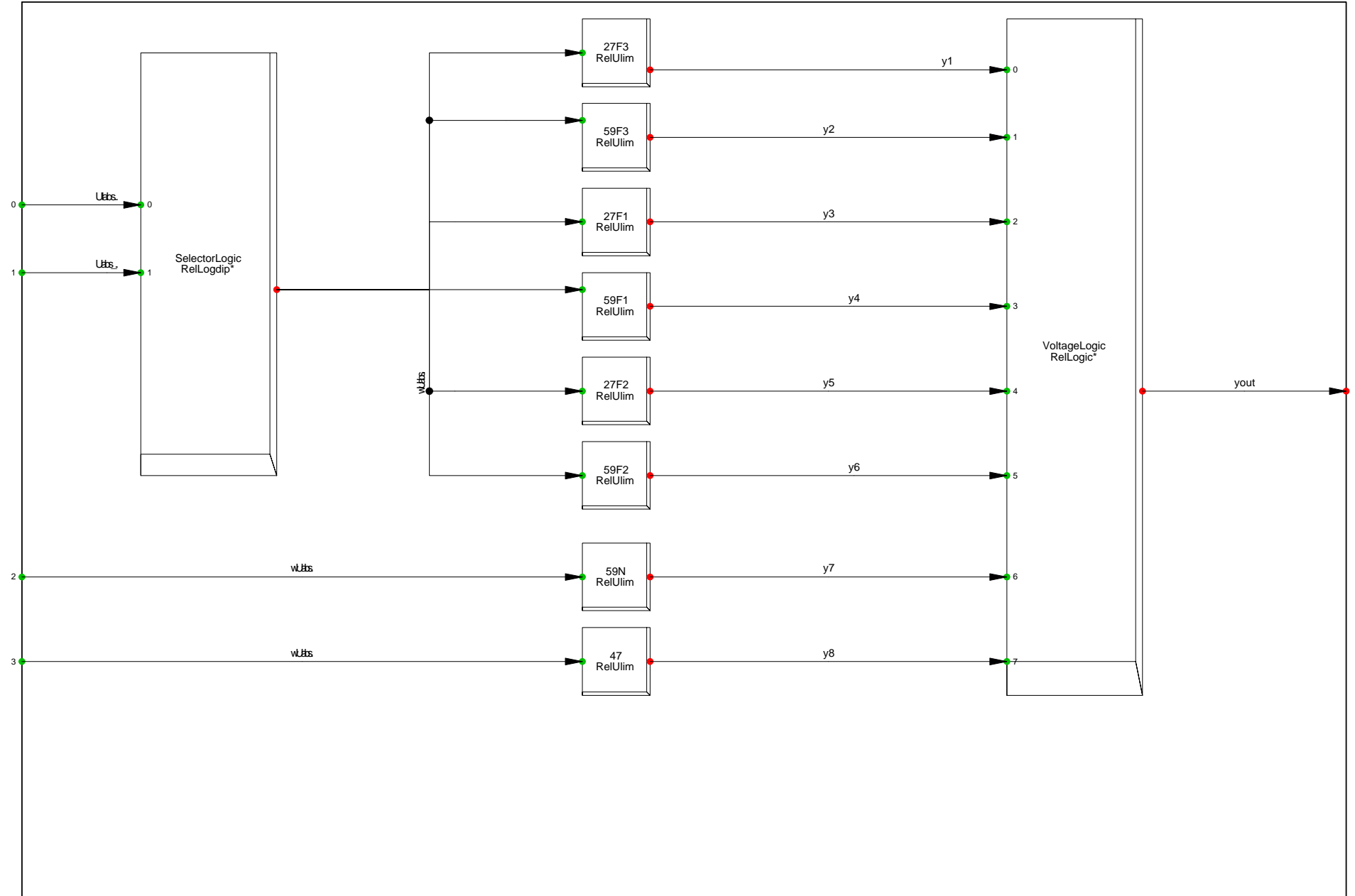
# IRV A Current:



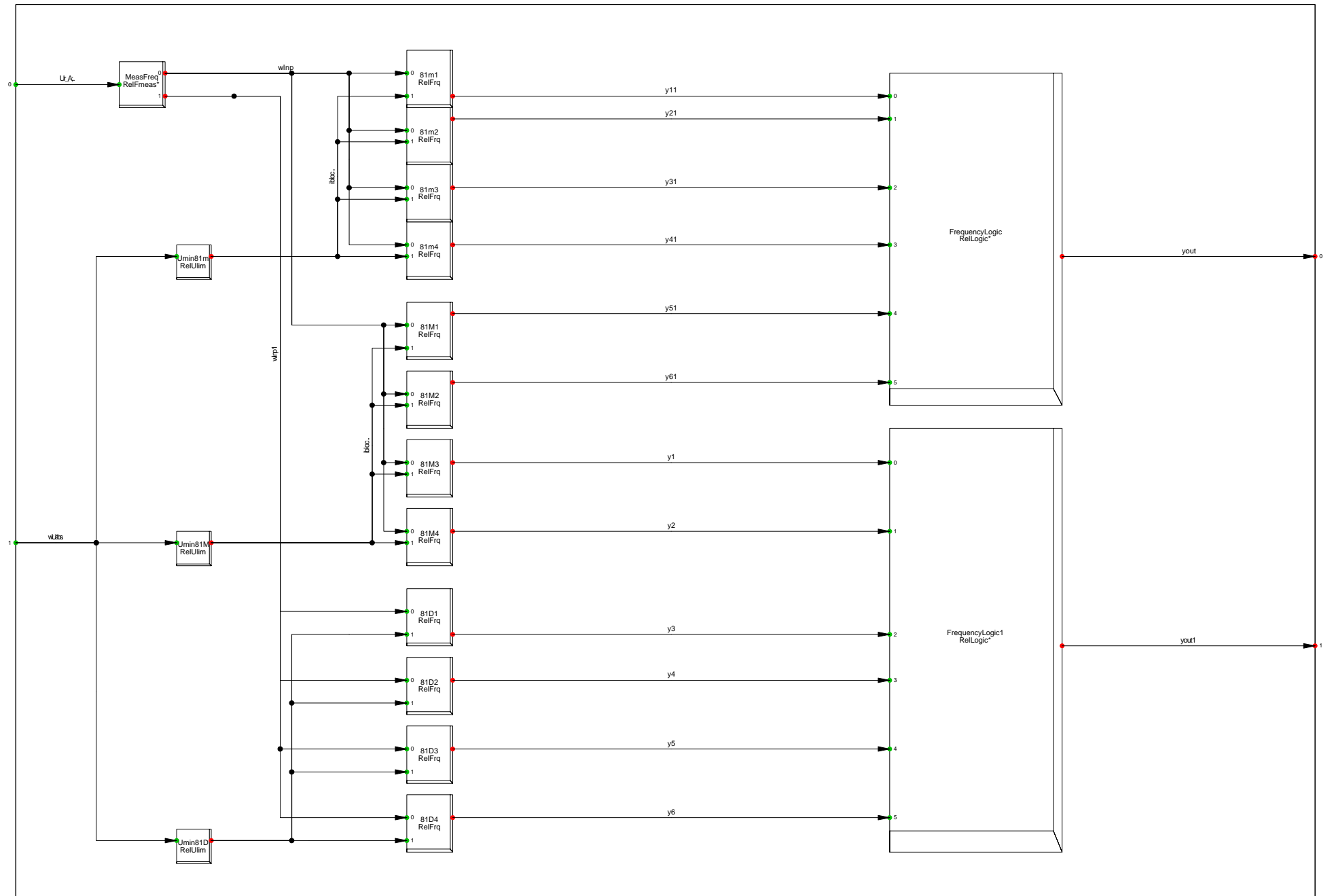
# IRV A Directional:



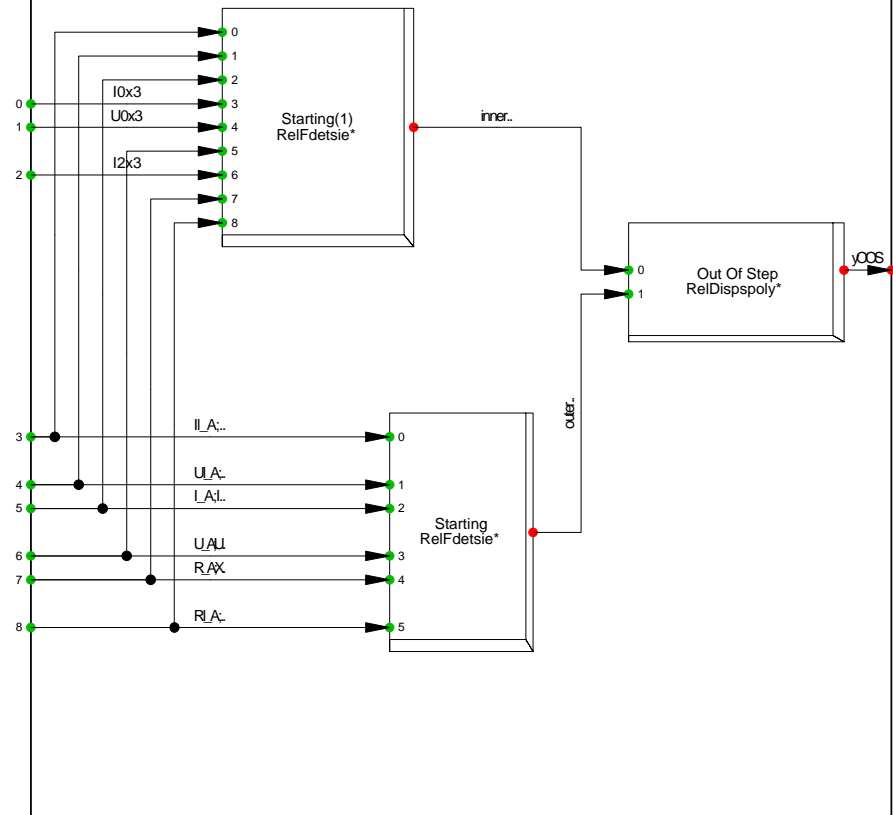
IRV A voltage:



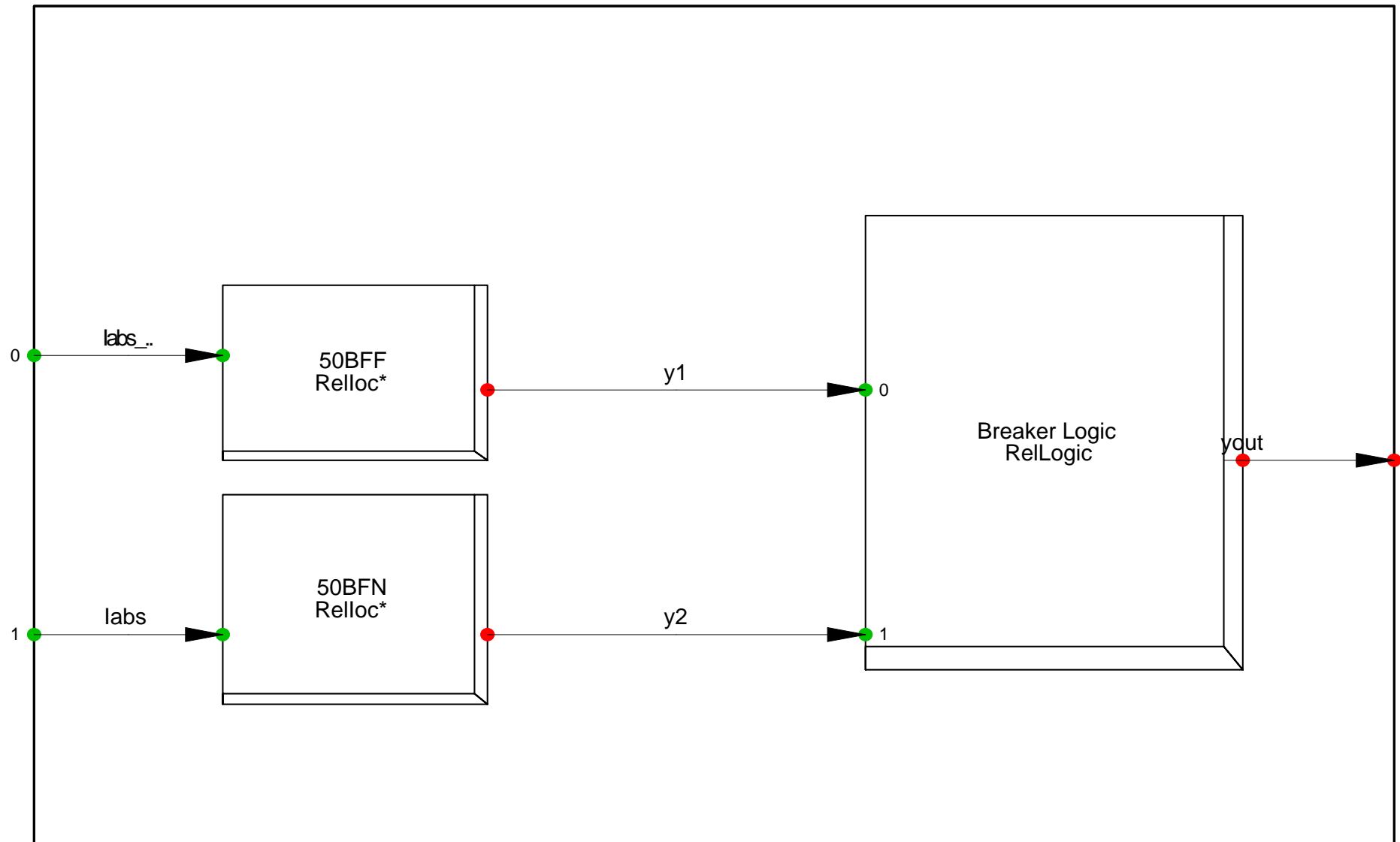
# IRV A Frequency:

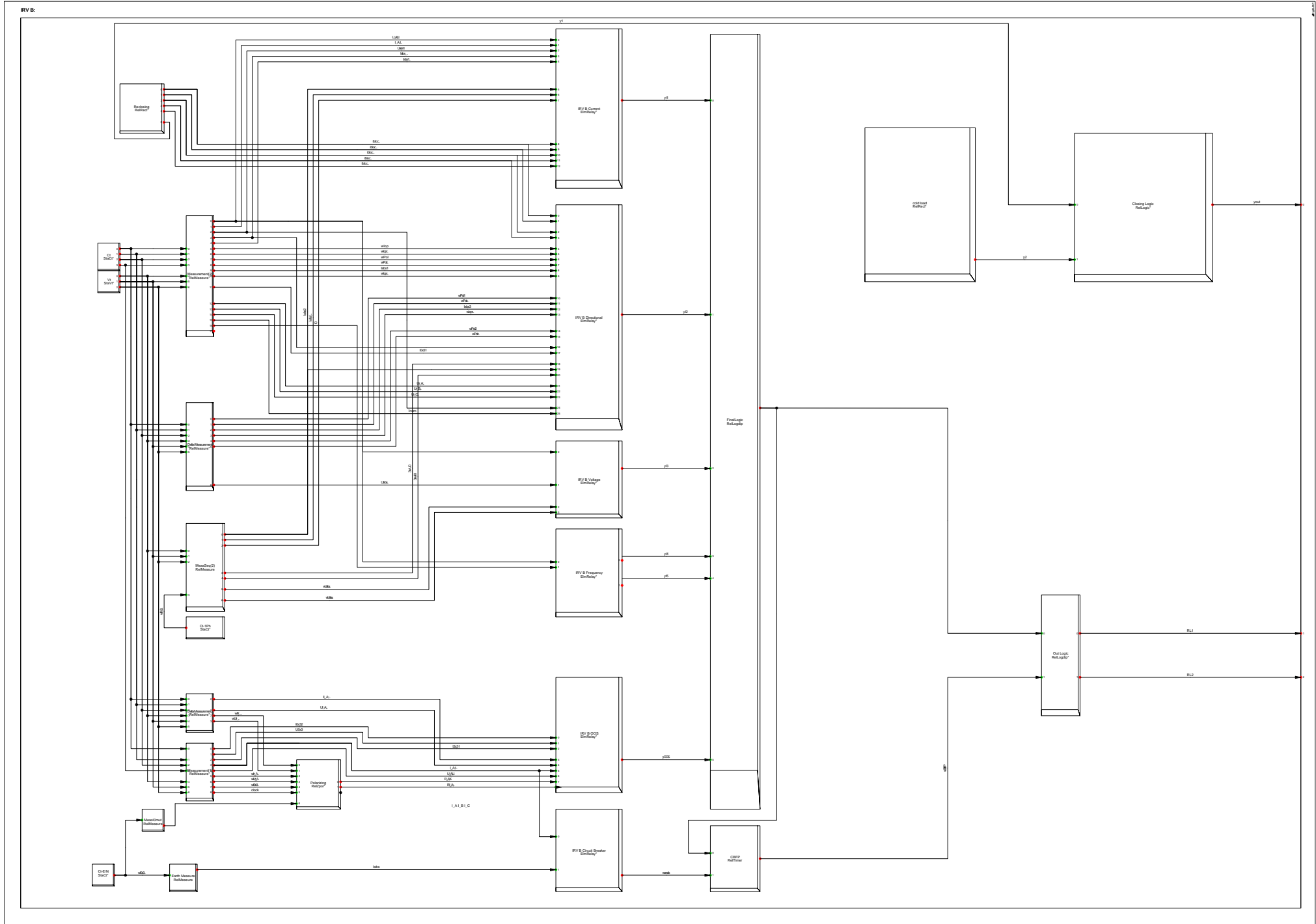


OOS A:

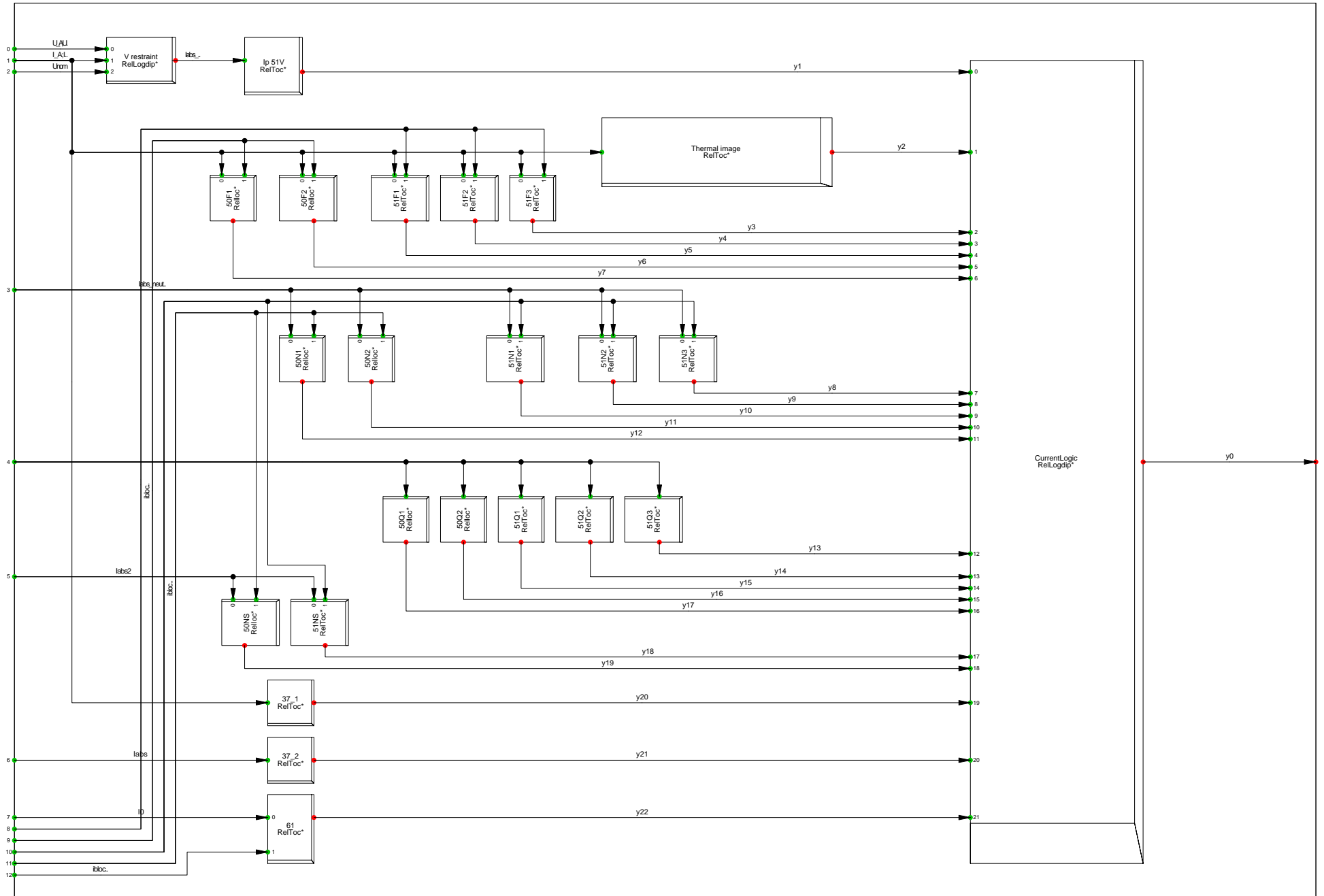


## IRV A Breaker:



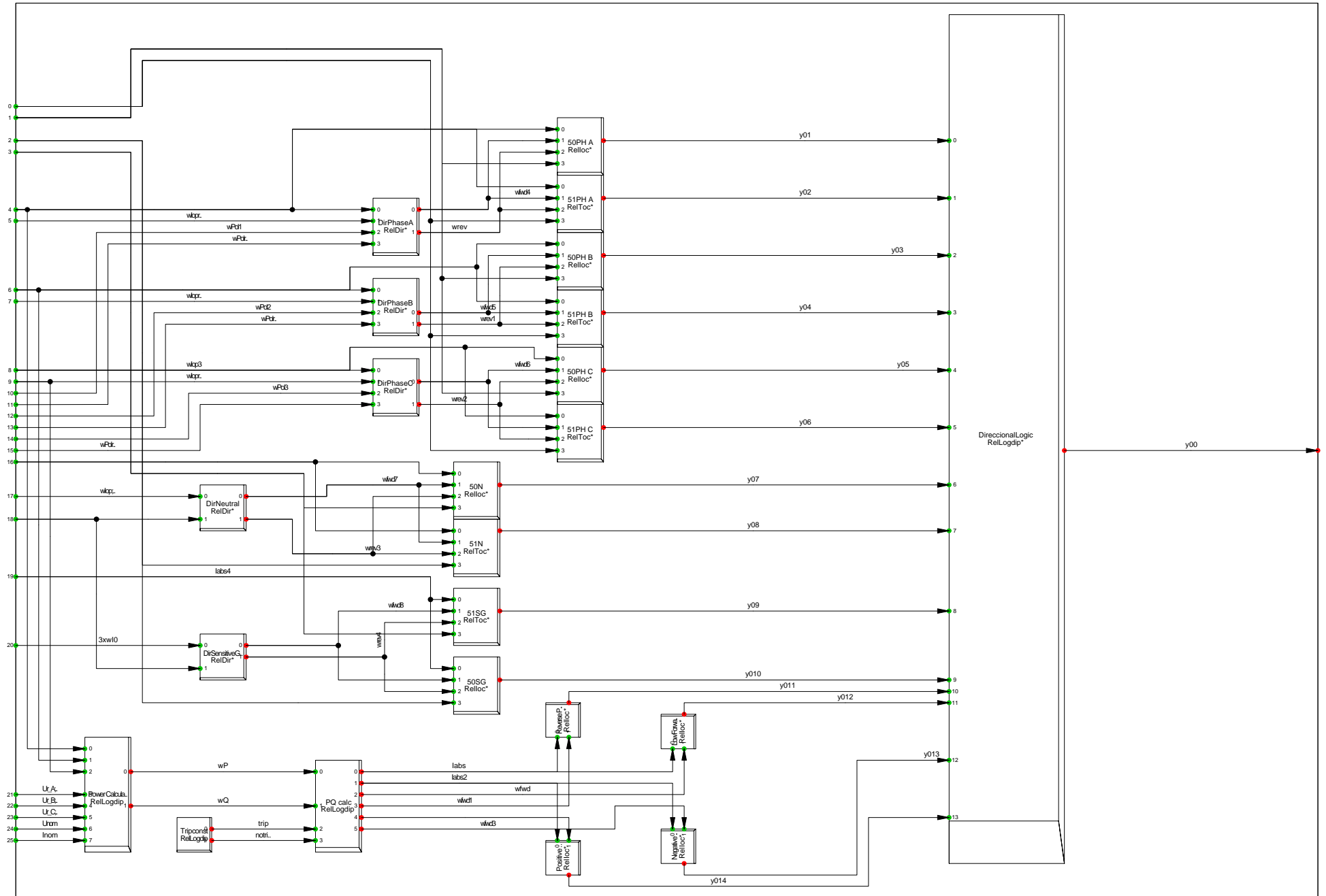


# IRV B Current:

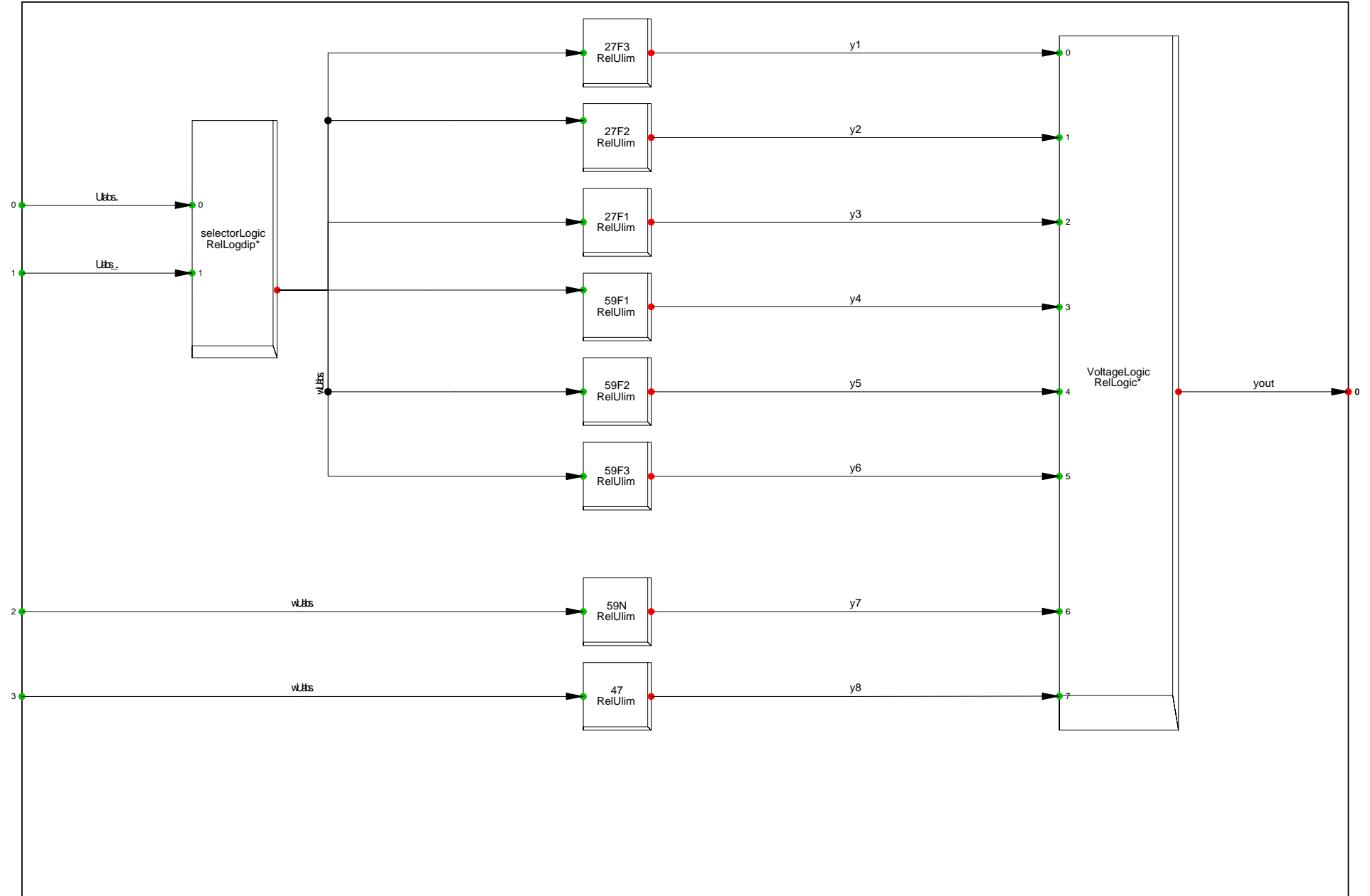




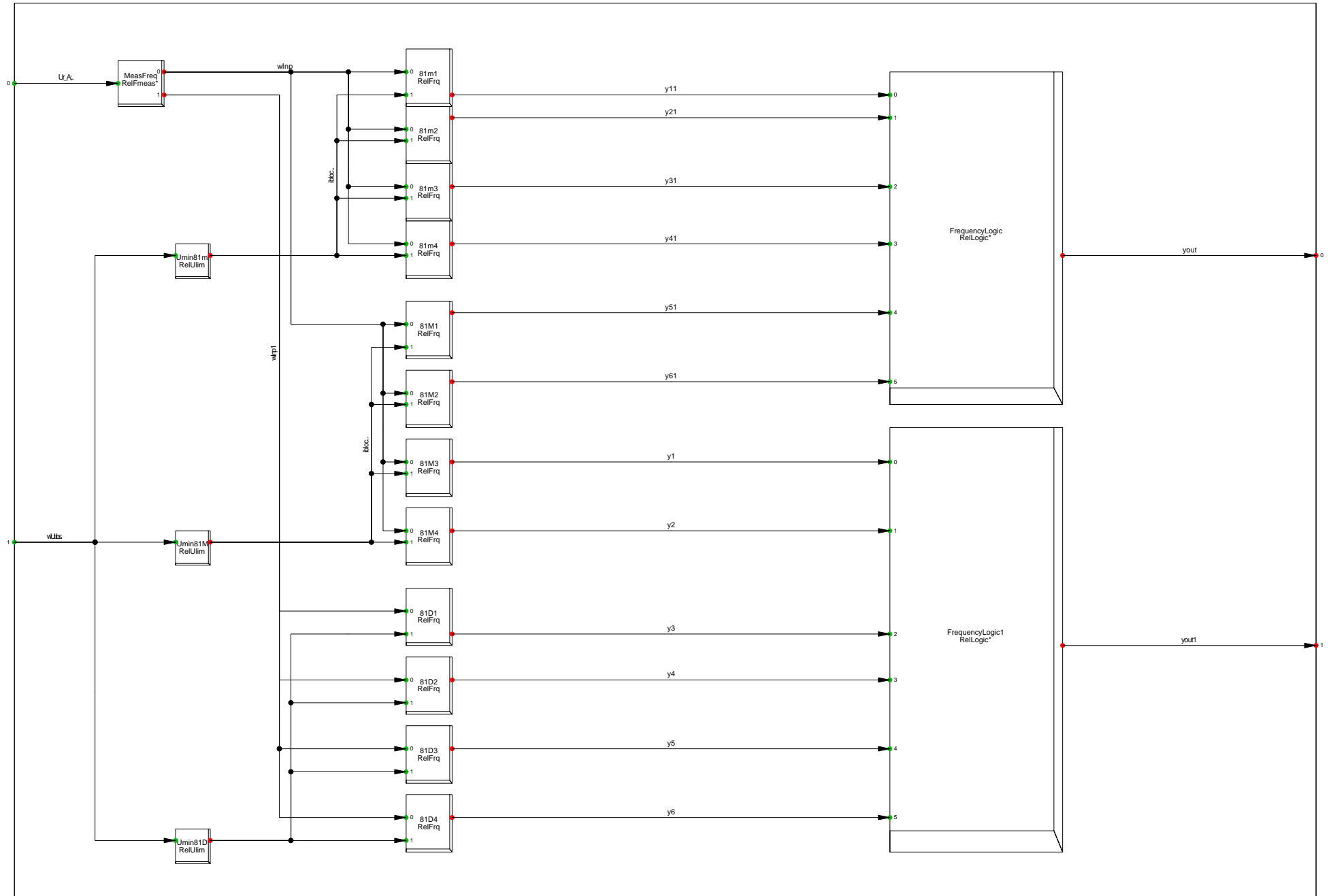
# IRV B Directional:



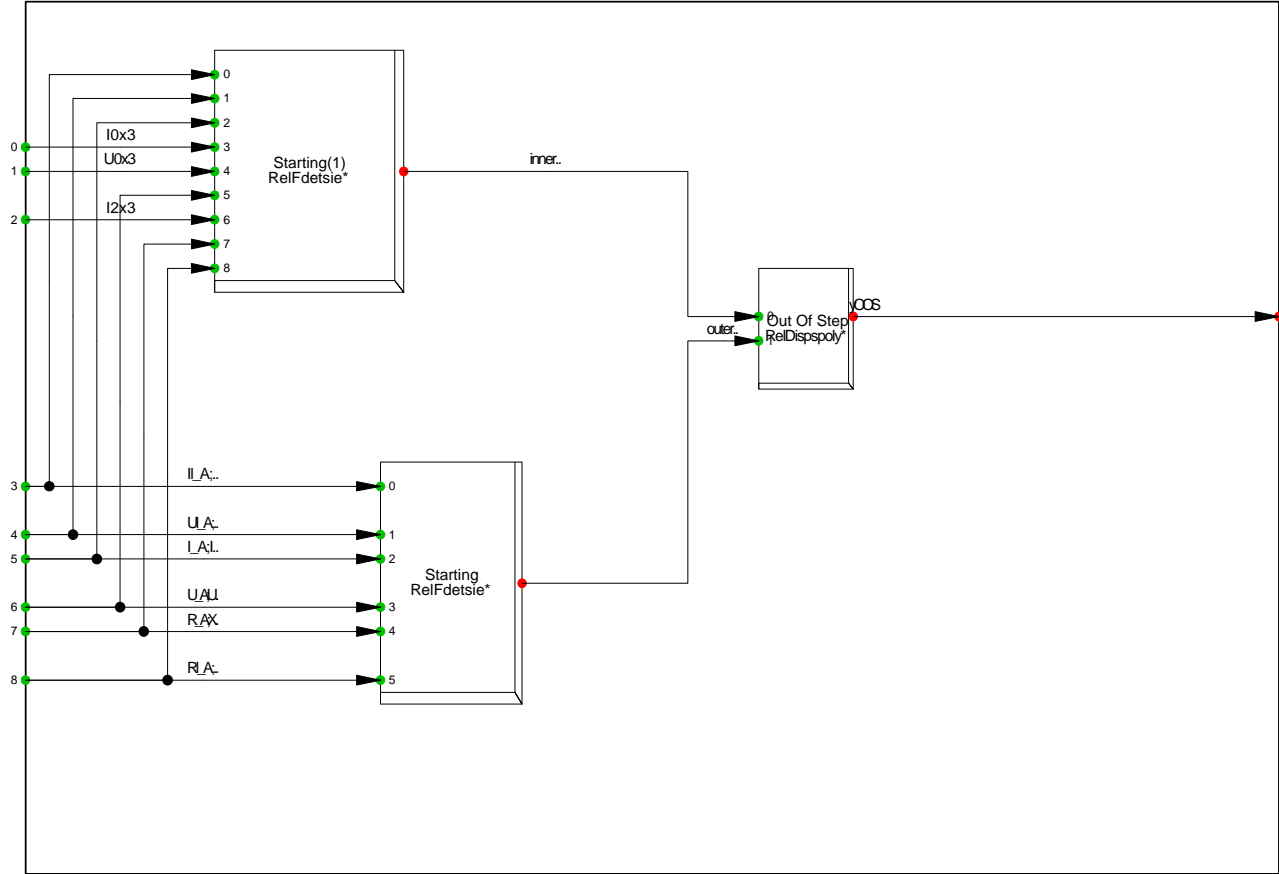
IRV B voltage:



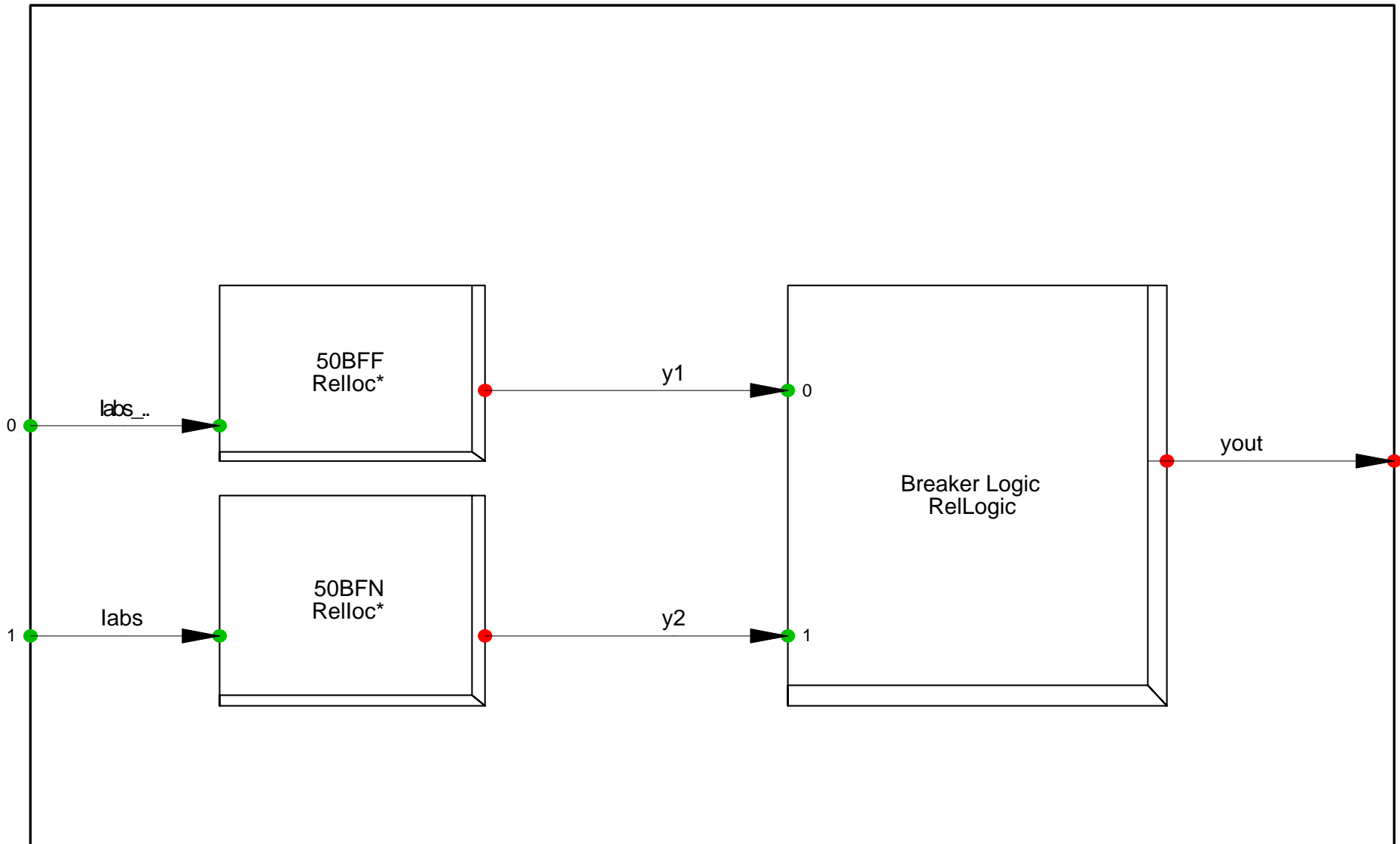
# IRV B Frequency:

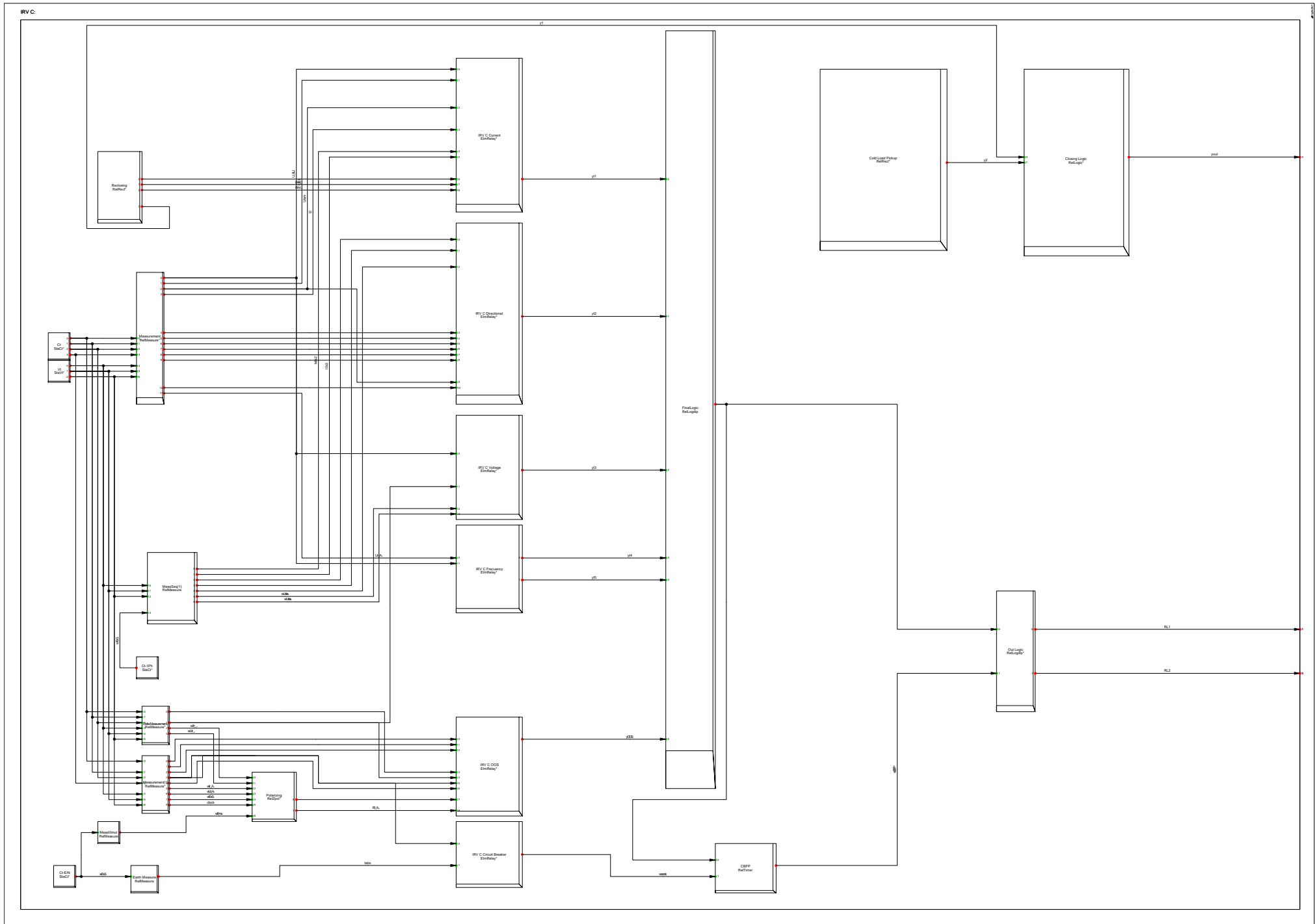


OOS B:

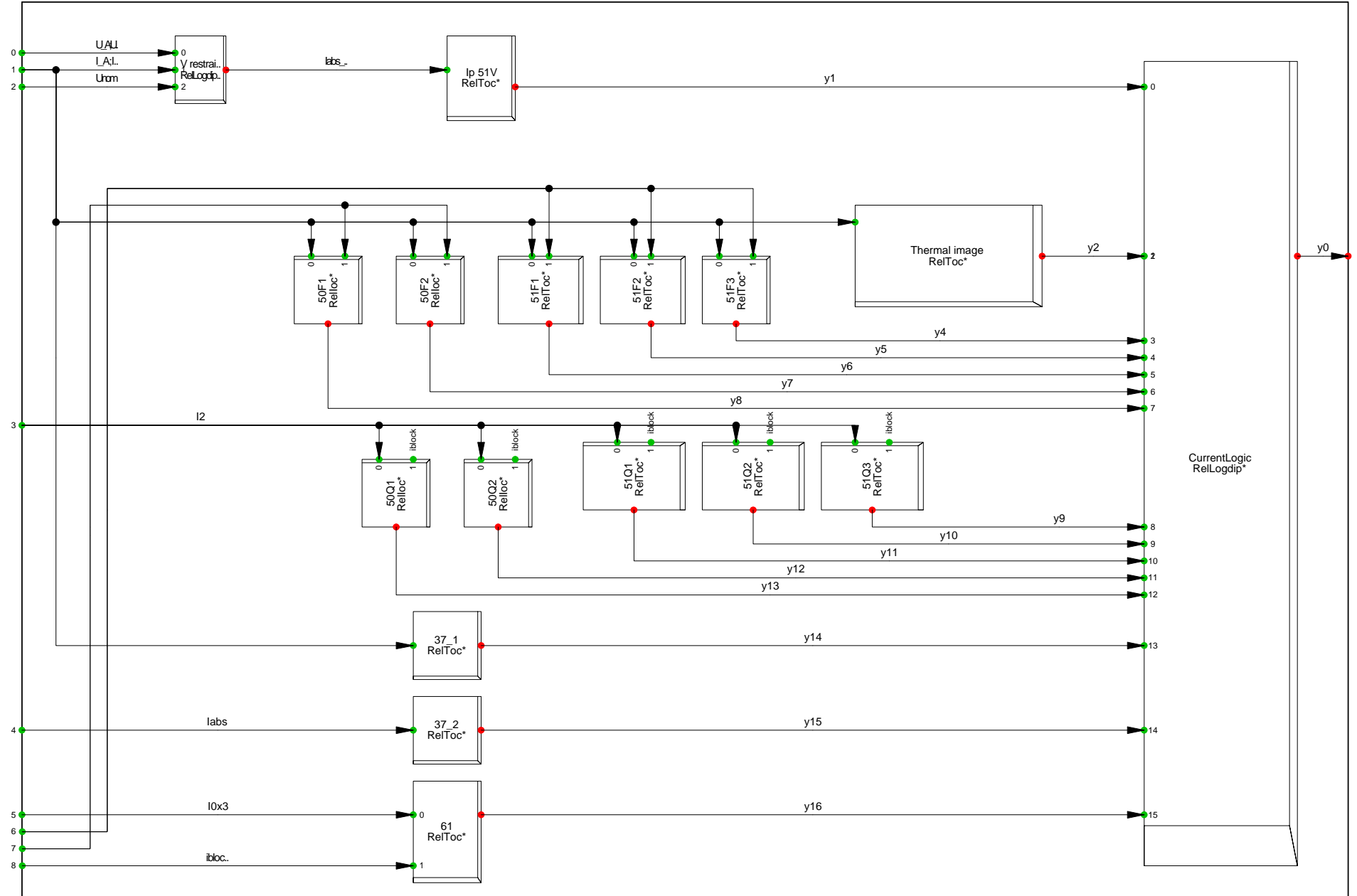


## IRV B Breaker:

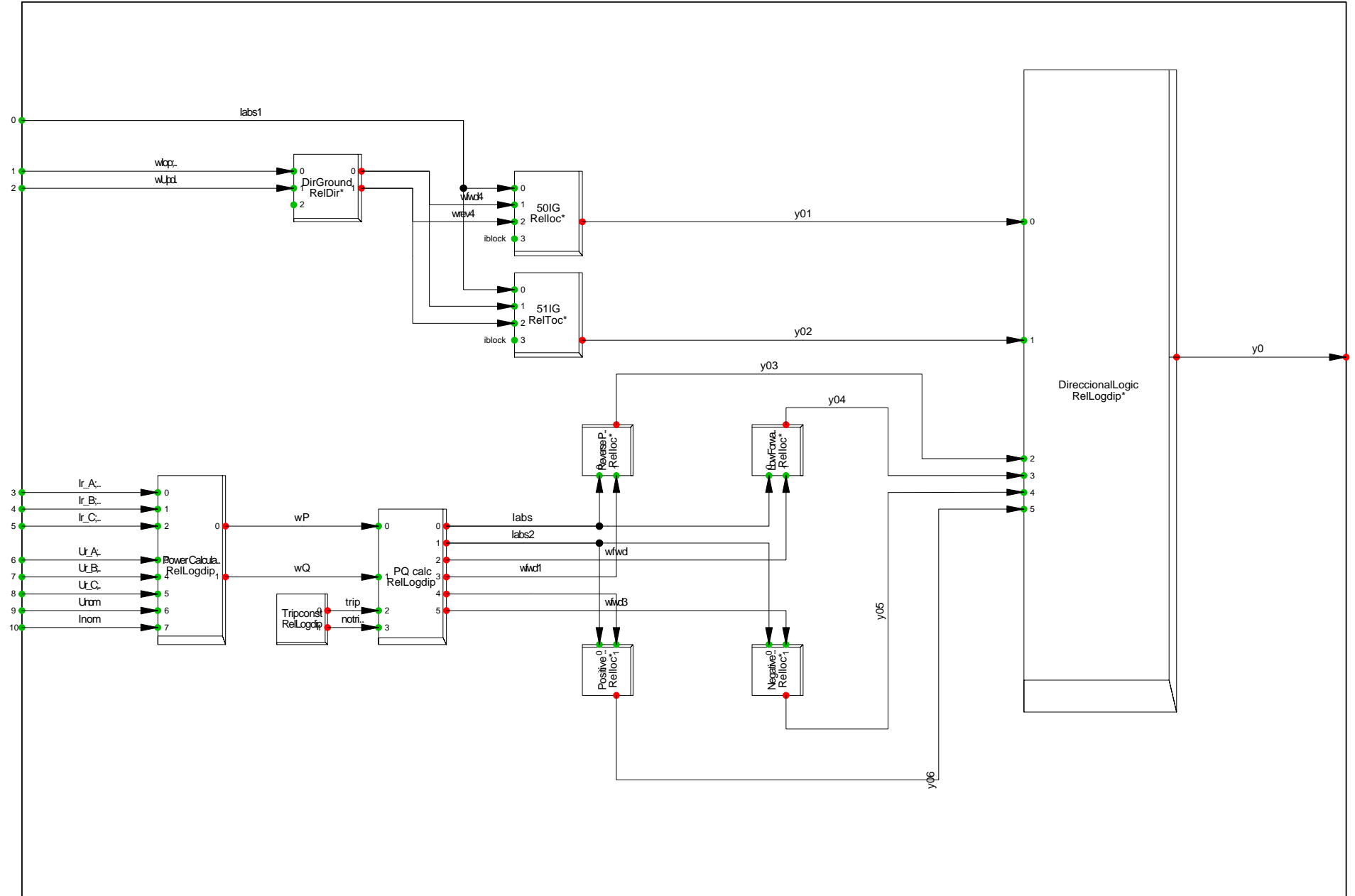




# IRV C Current:

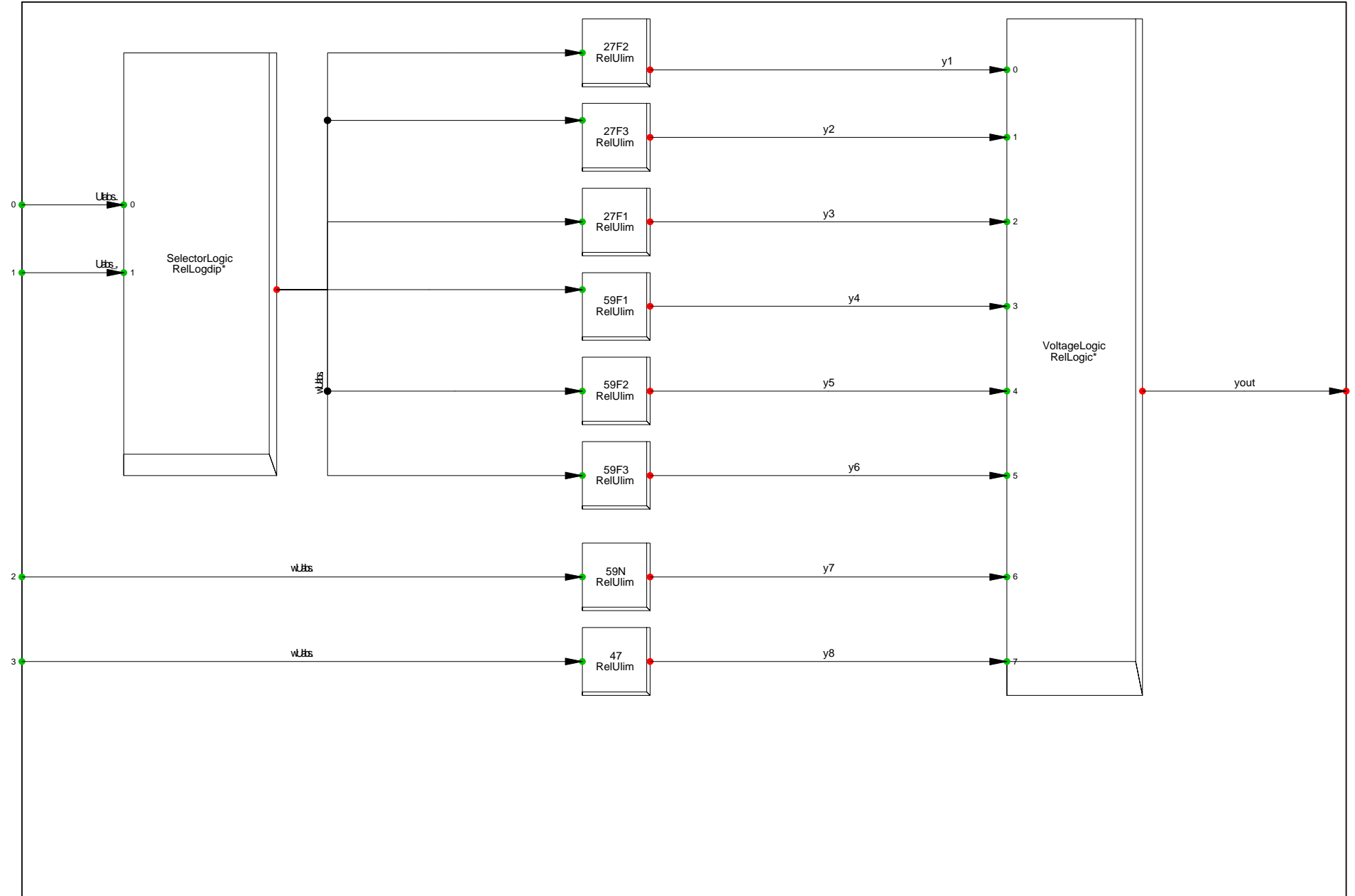


# IRV C Directional:

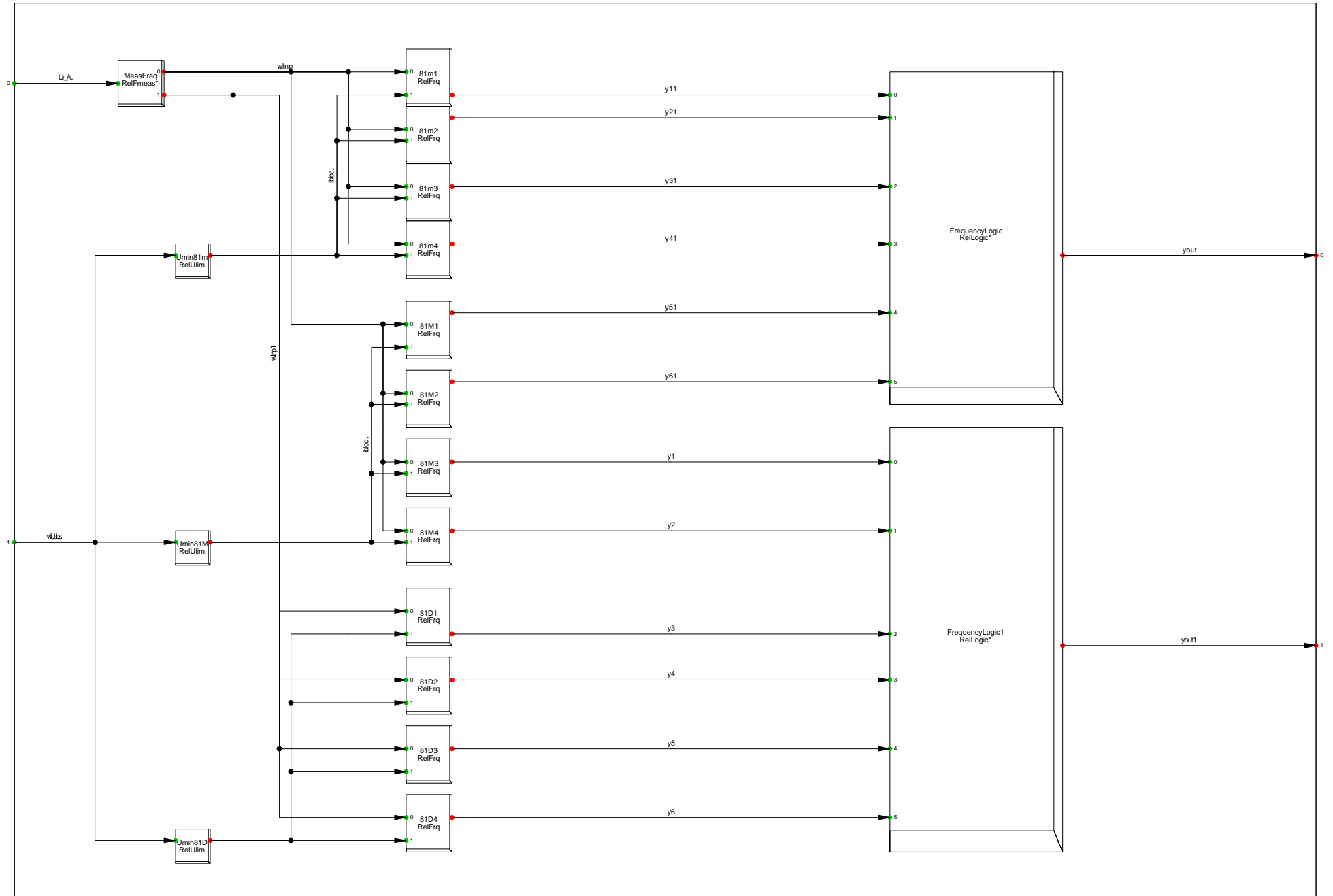




IRV C voltage:

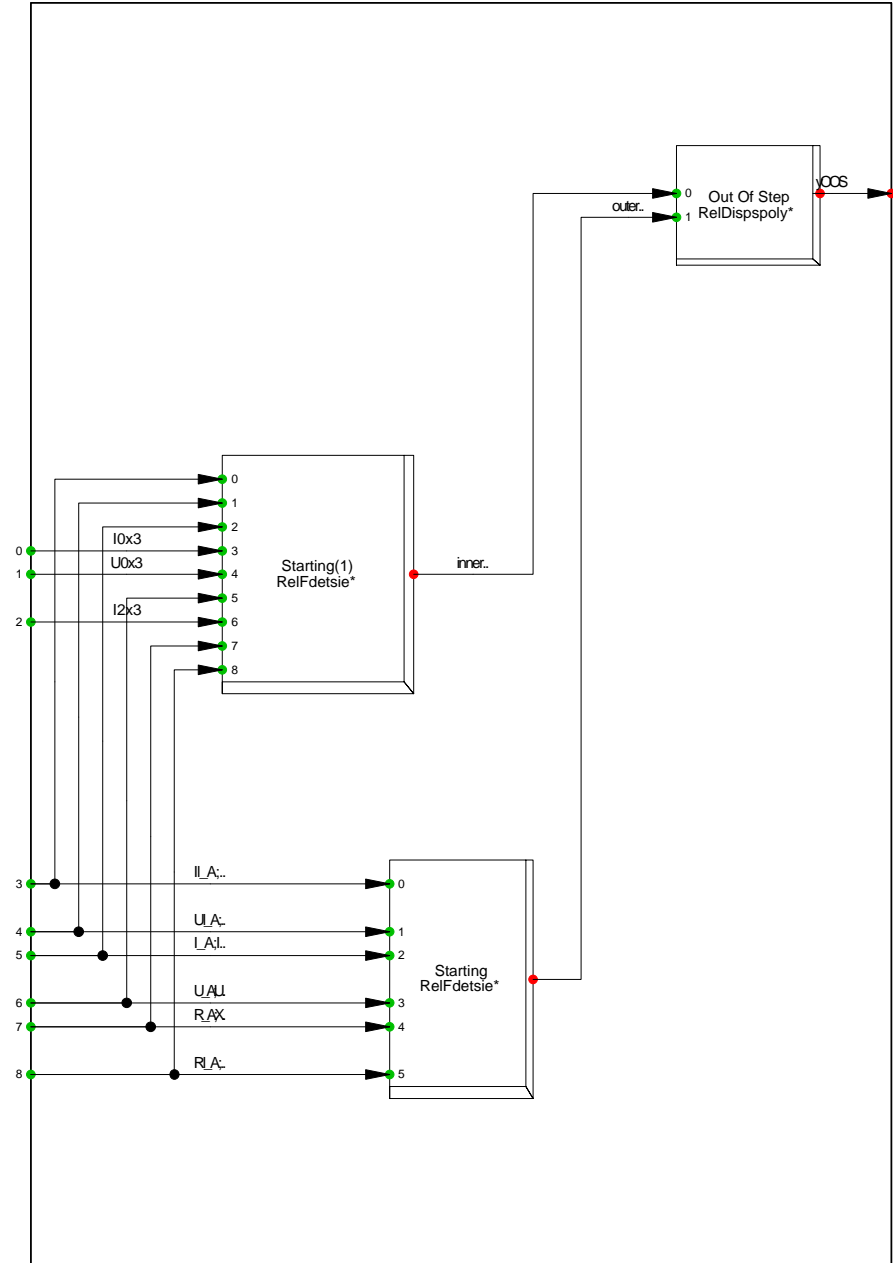


# IRV C Frequency:

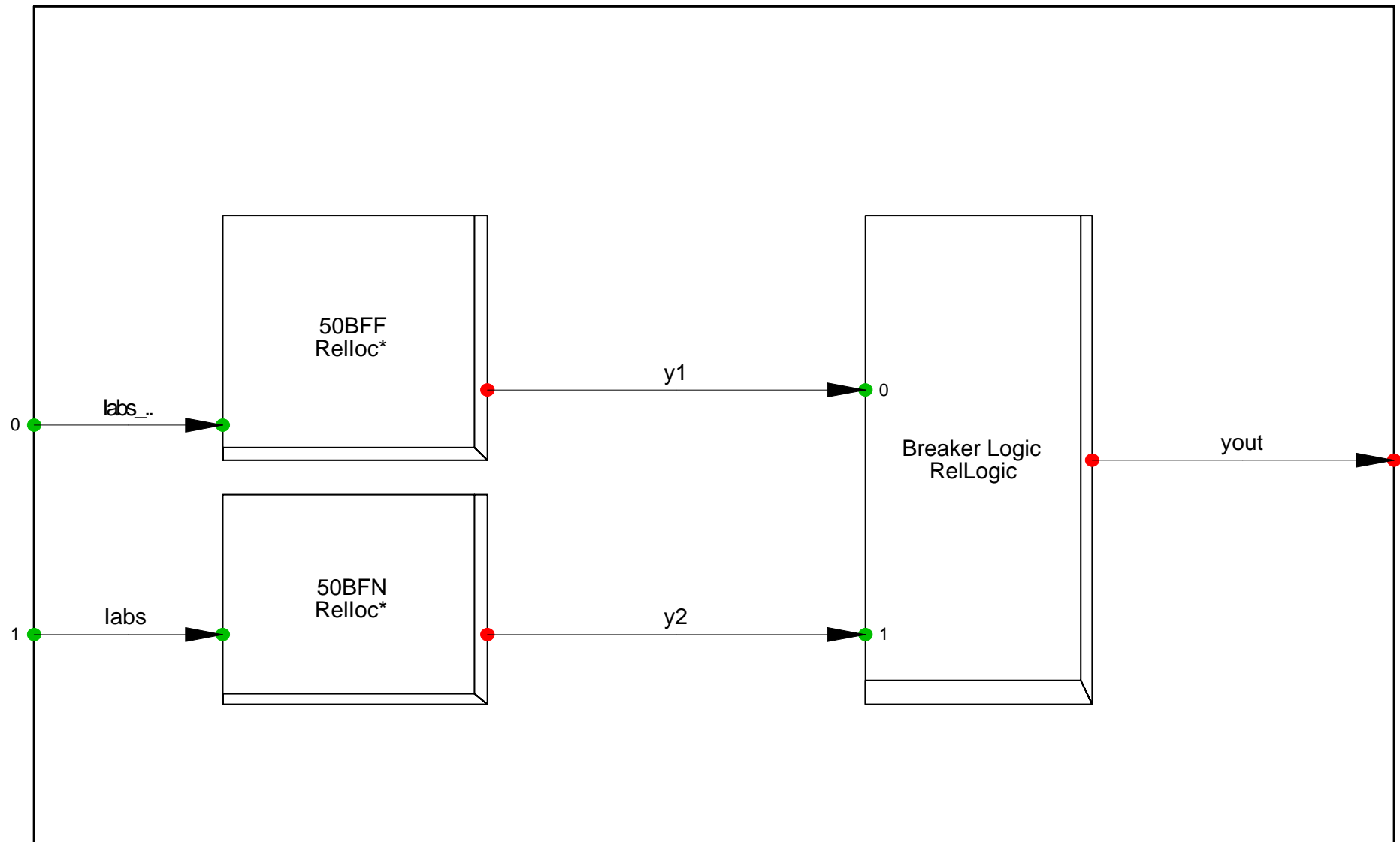


OOS C:

DISSENT

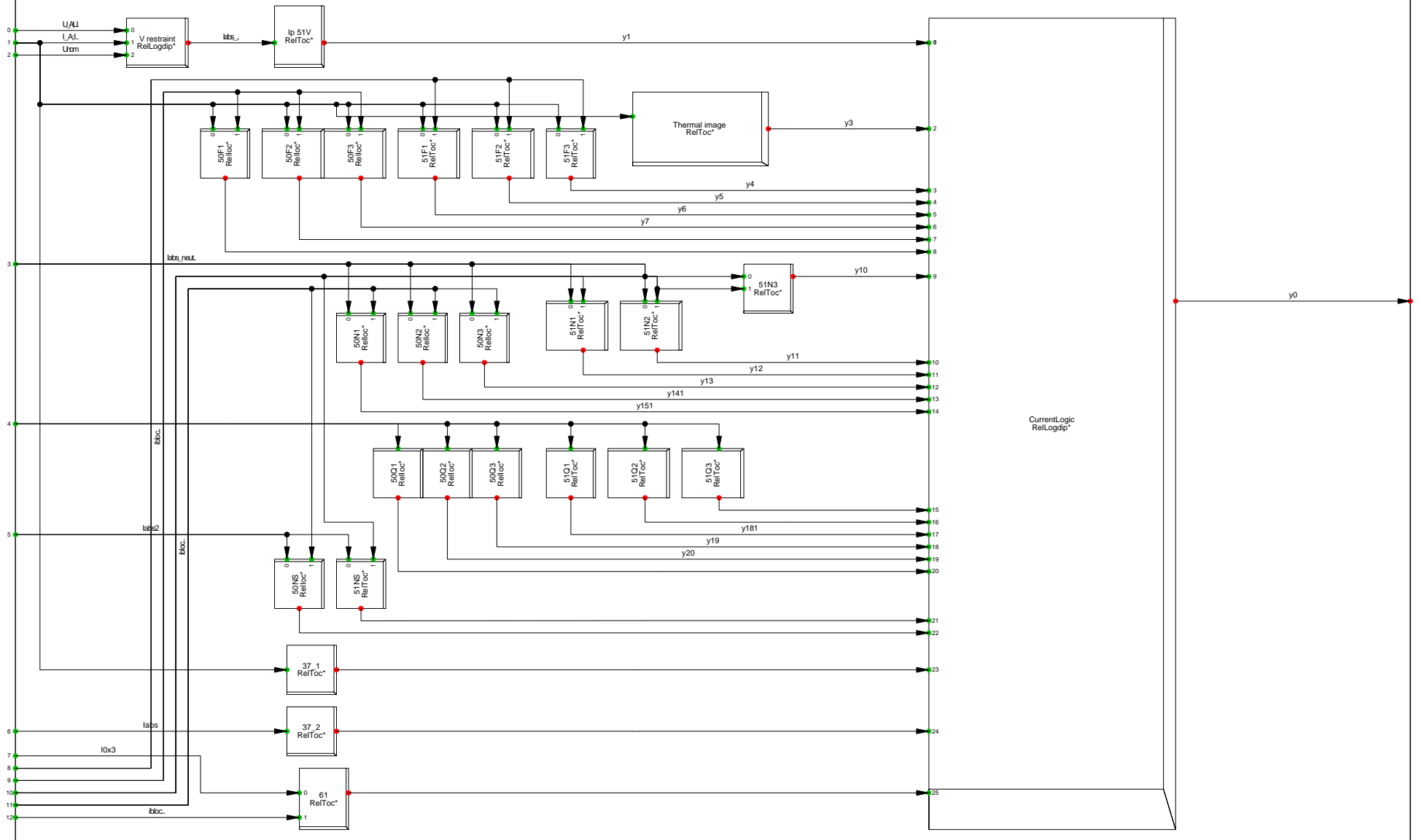


## IRV C Breaker:

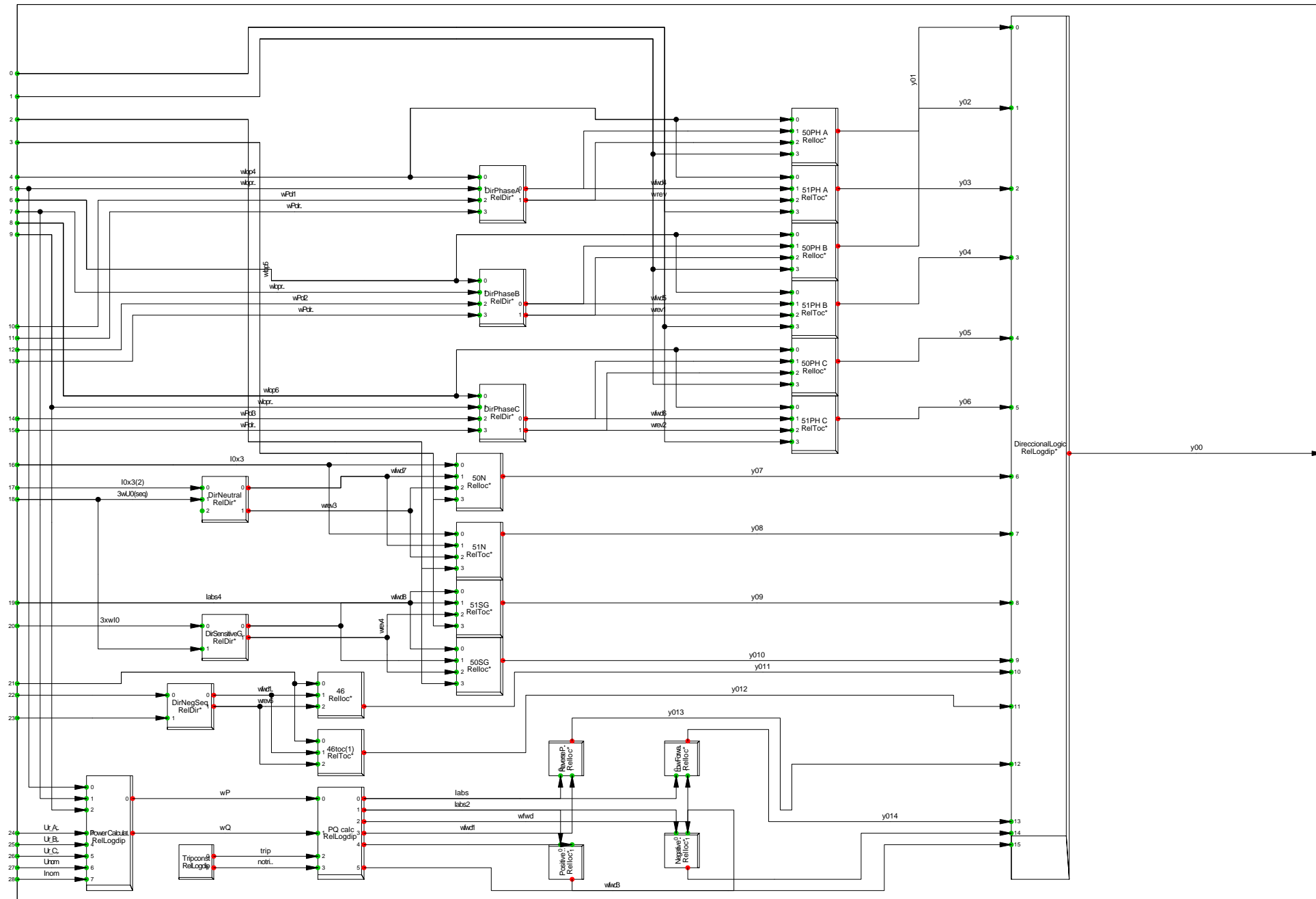




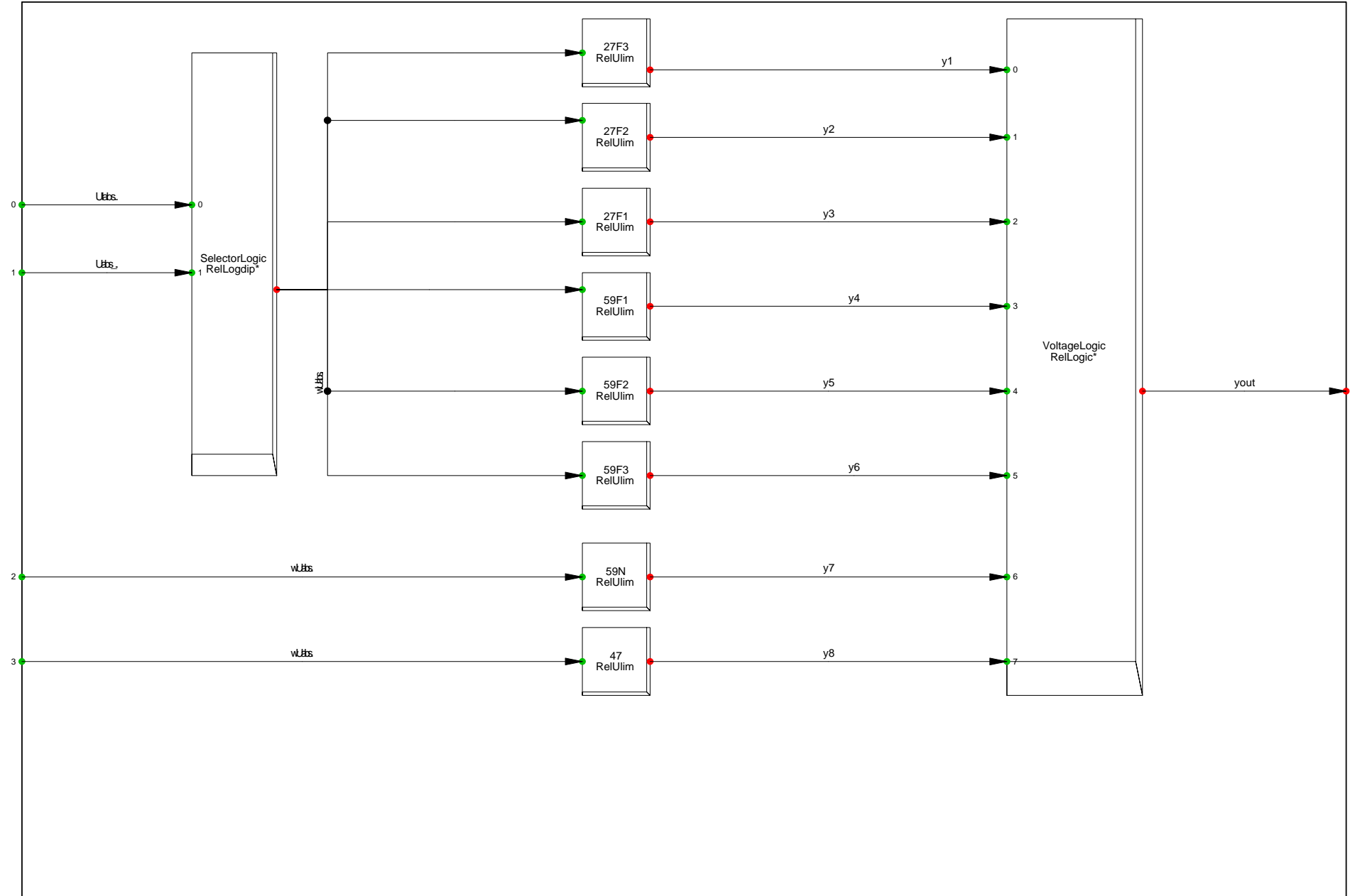
# IRV D Current:



IRV D Directional:

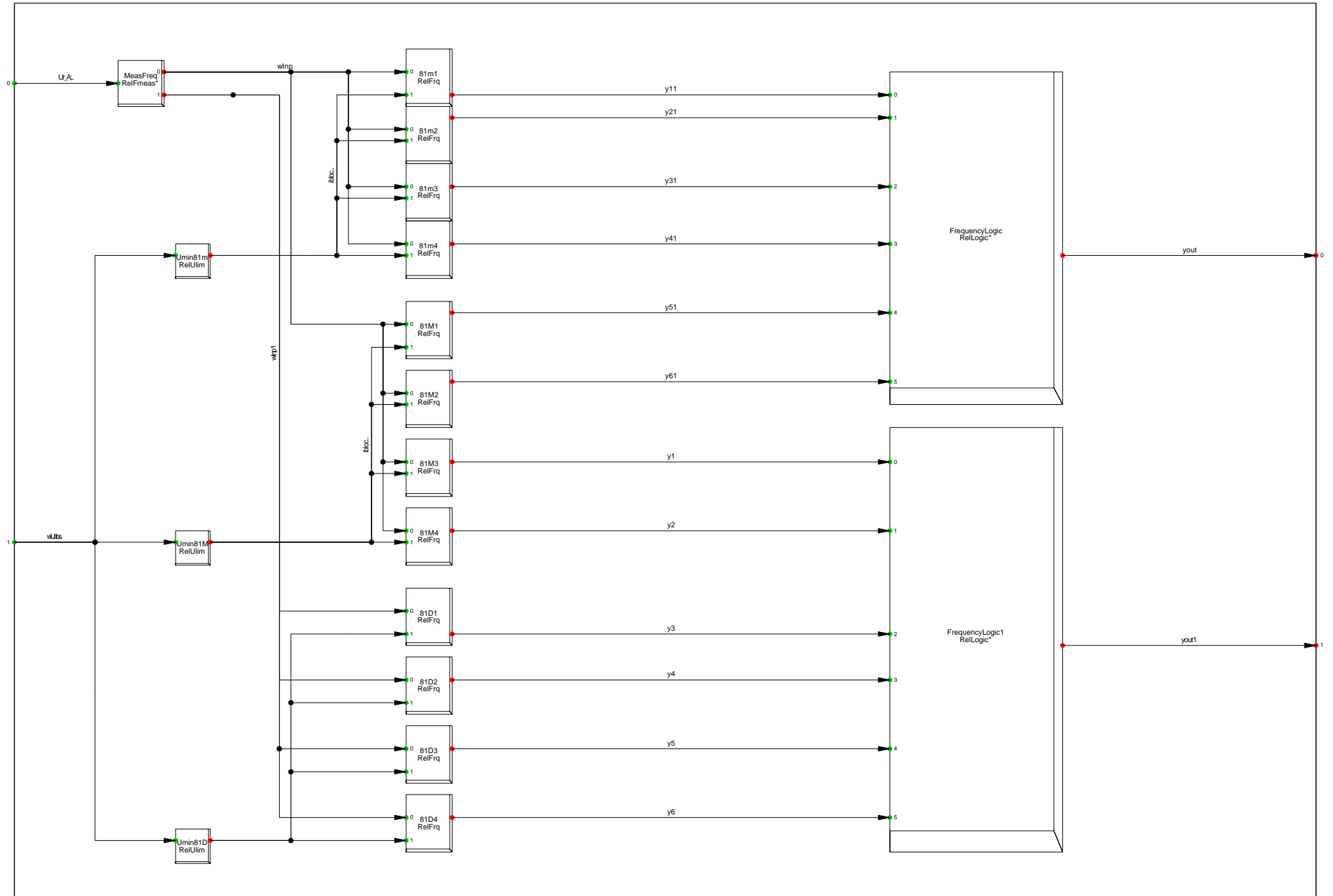


IRV D voltage:



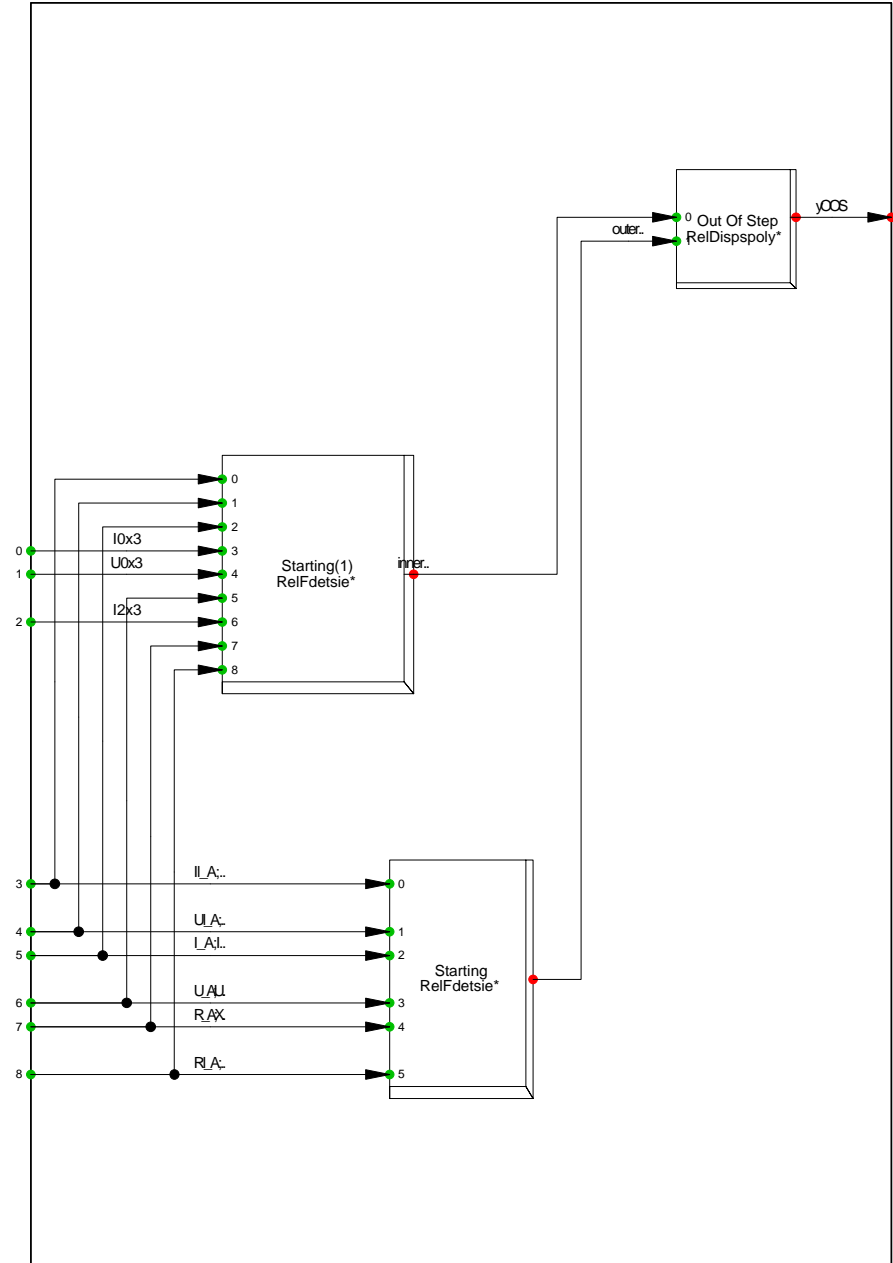


# IRV D Frequency:

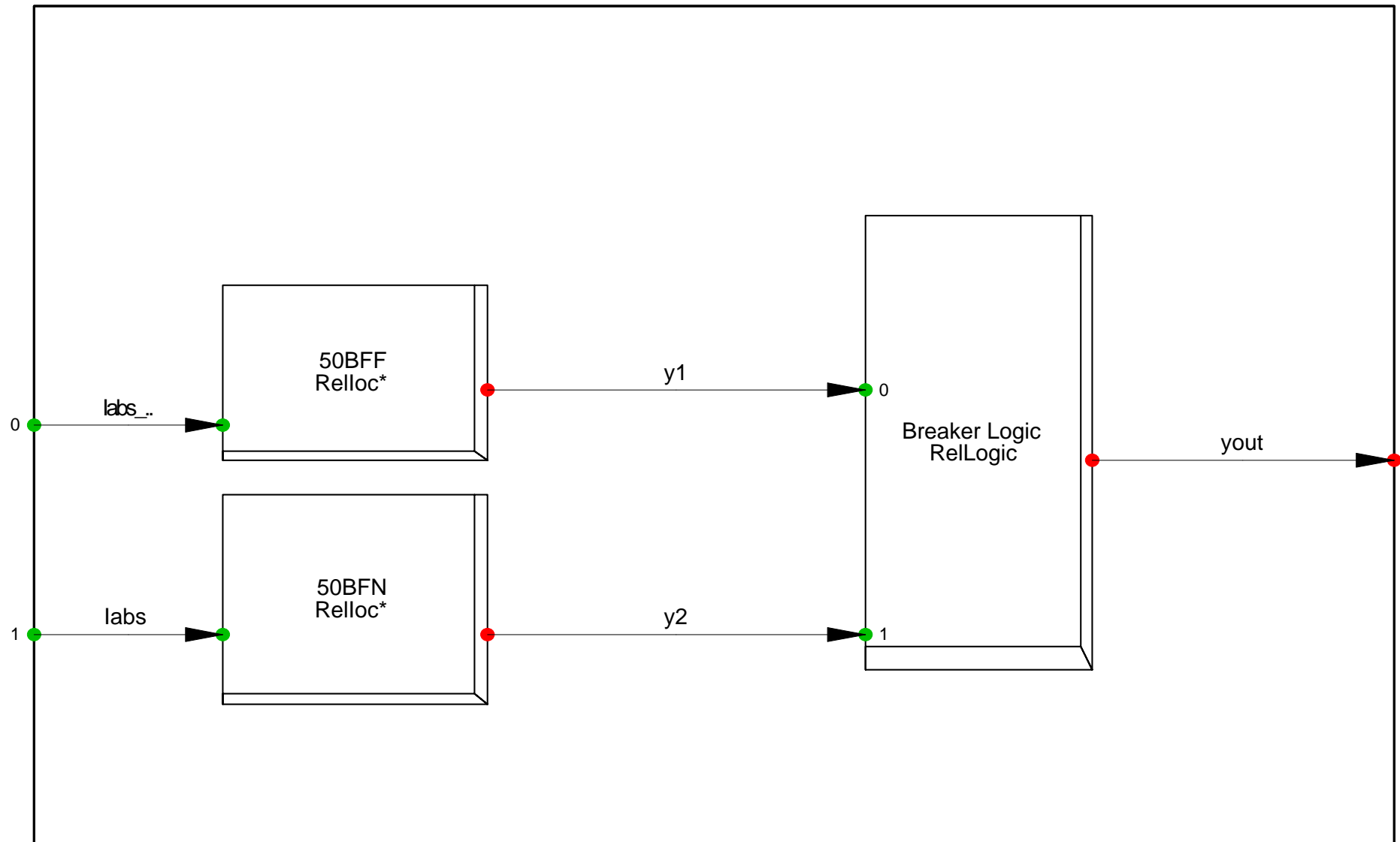


OOS D:

DISSENT

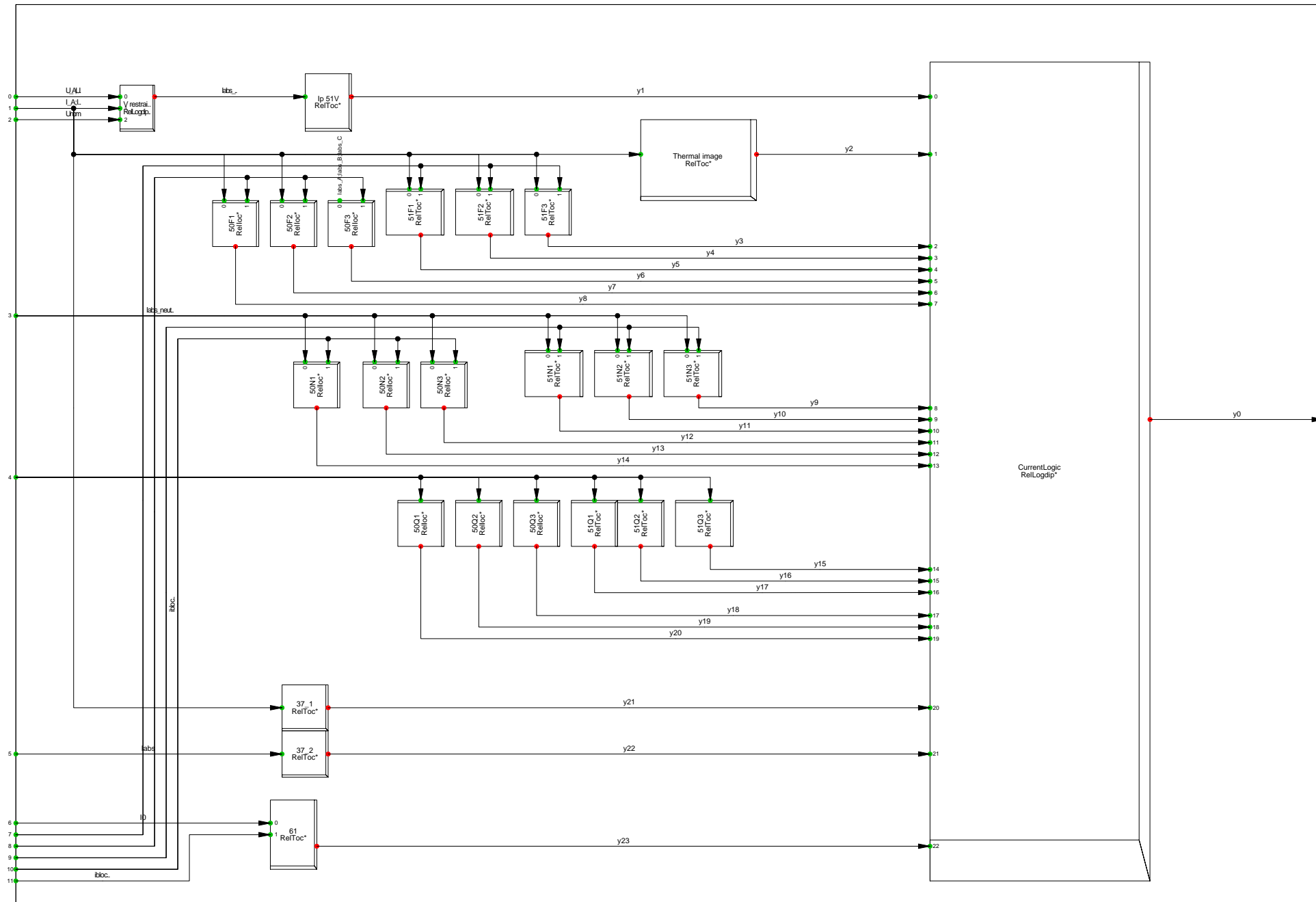


## IRV D Breaker:

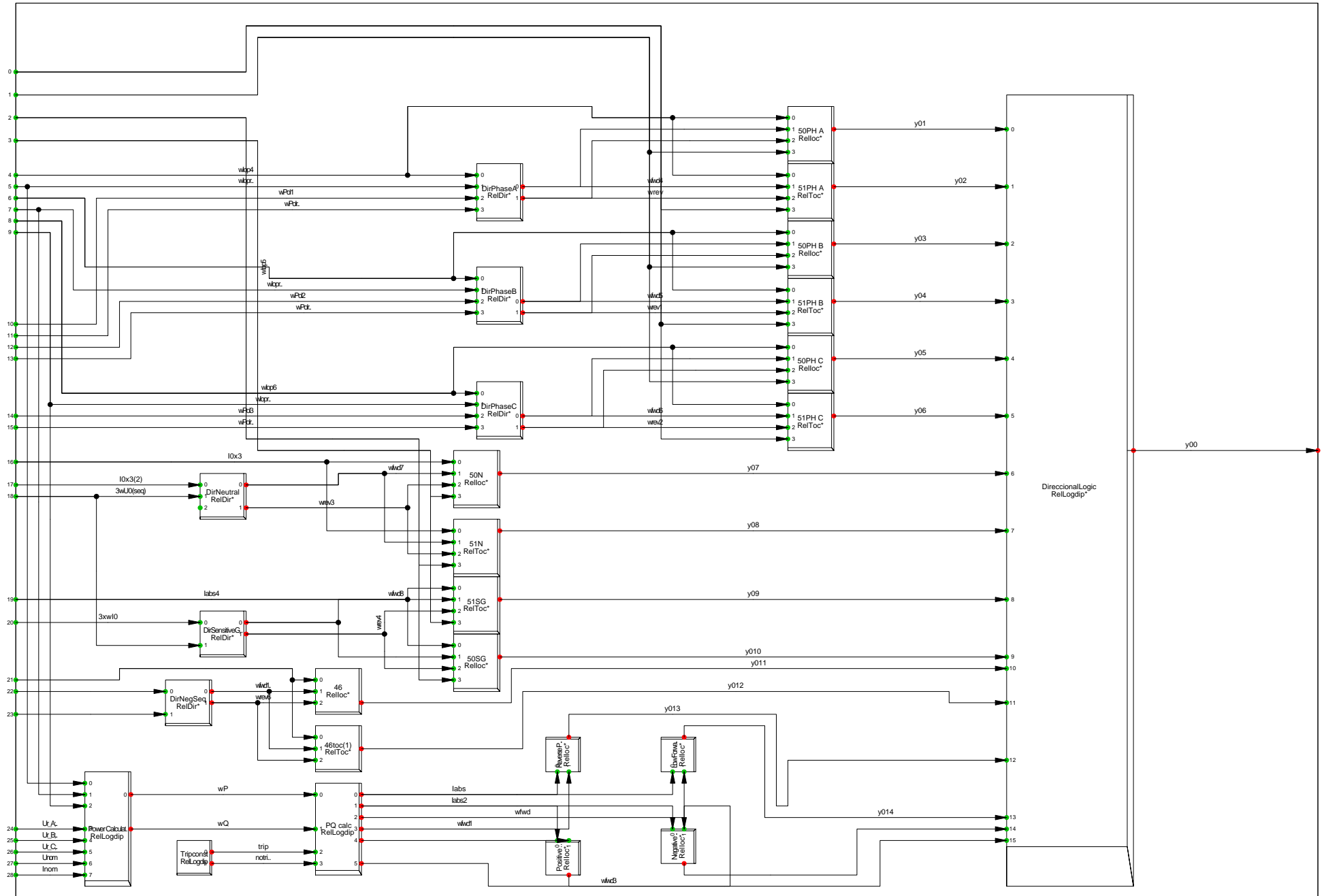




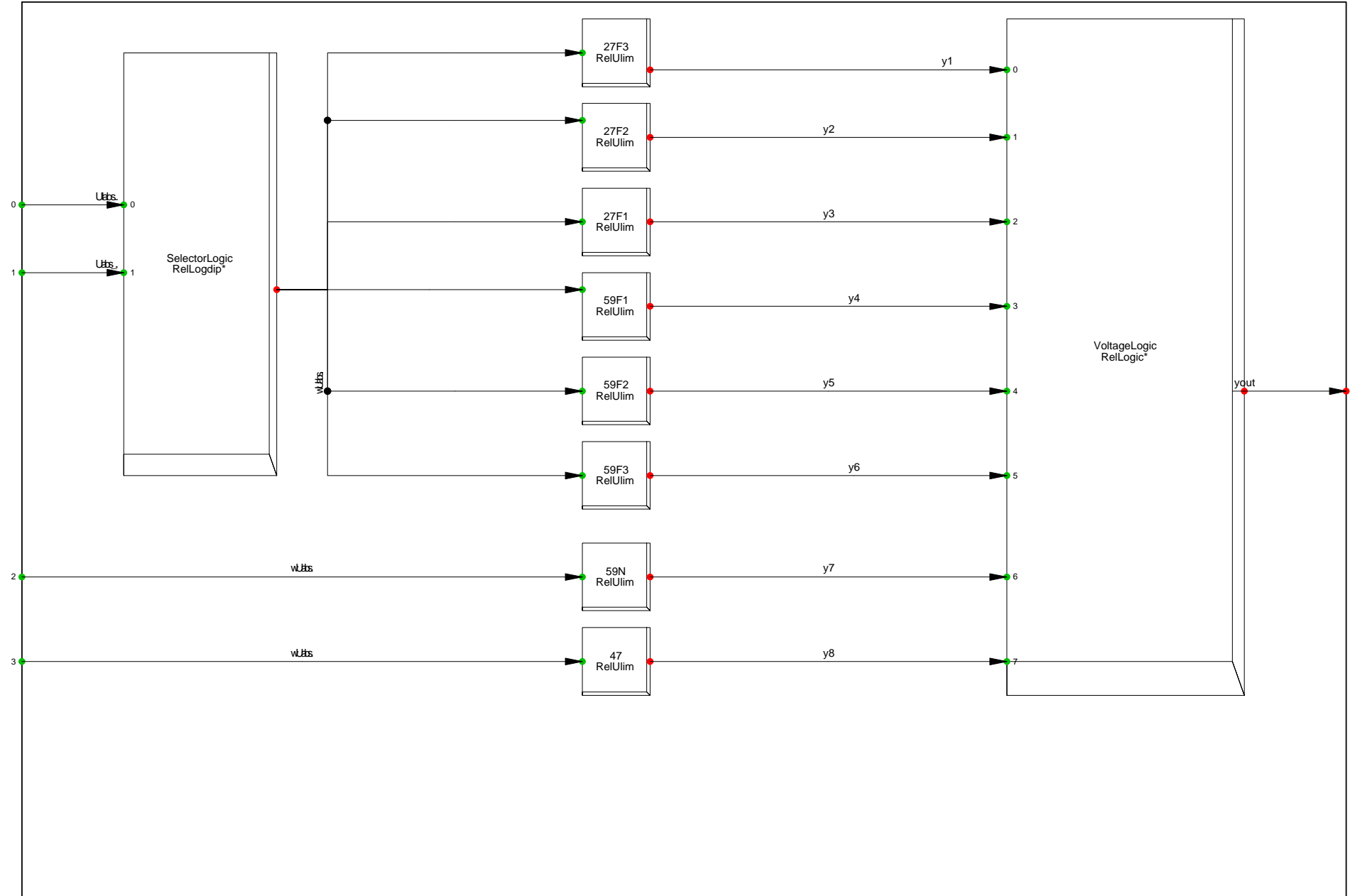
IRV G Current:



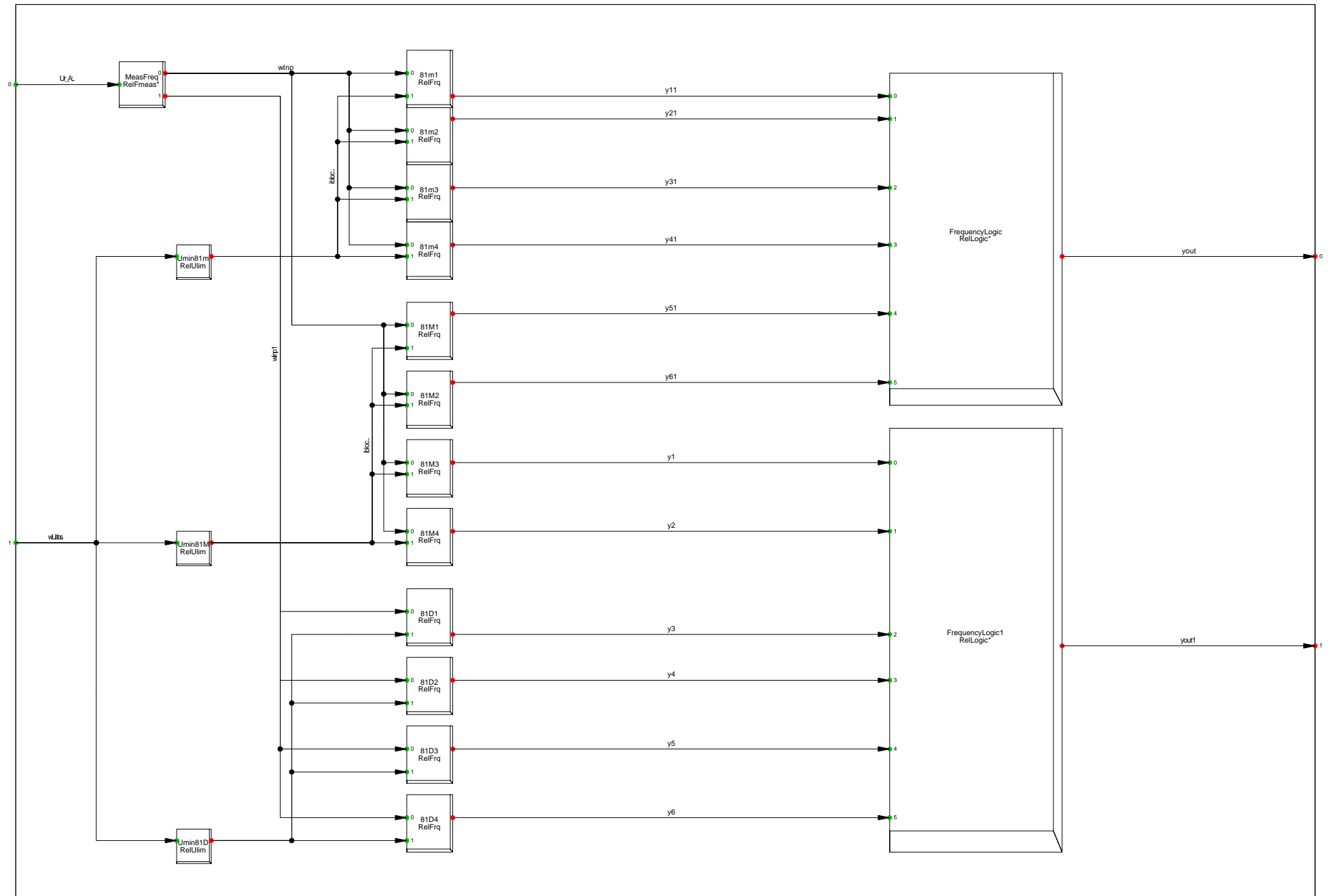
# IRV G Directional:



IRV G voltage:

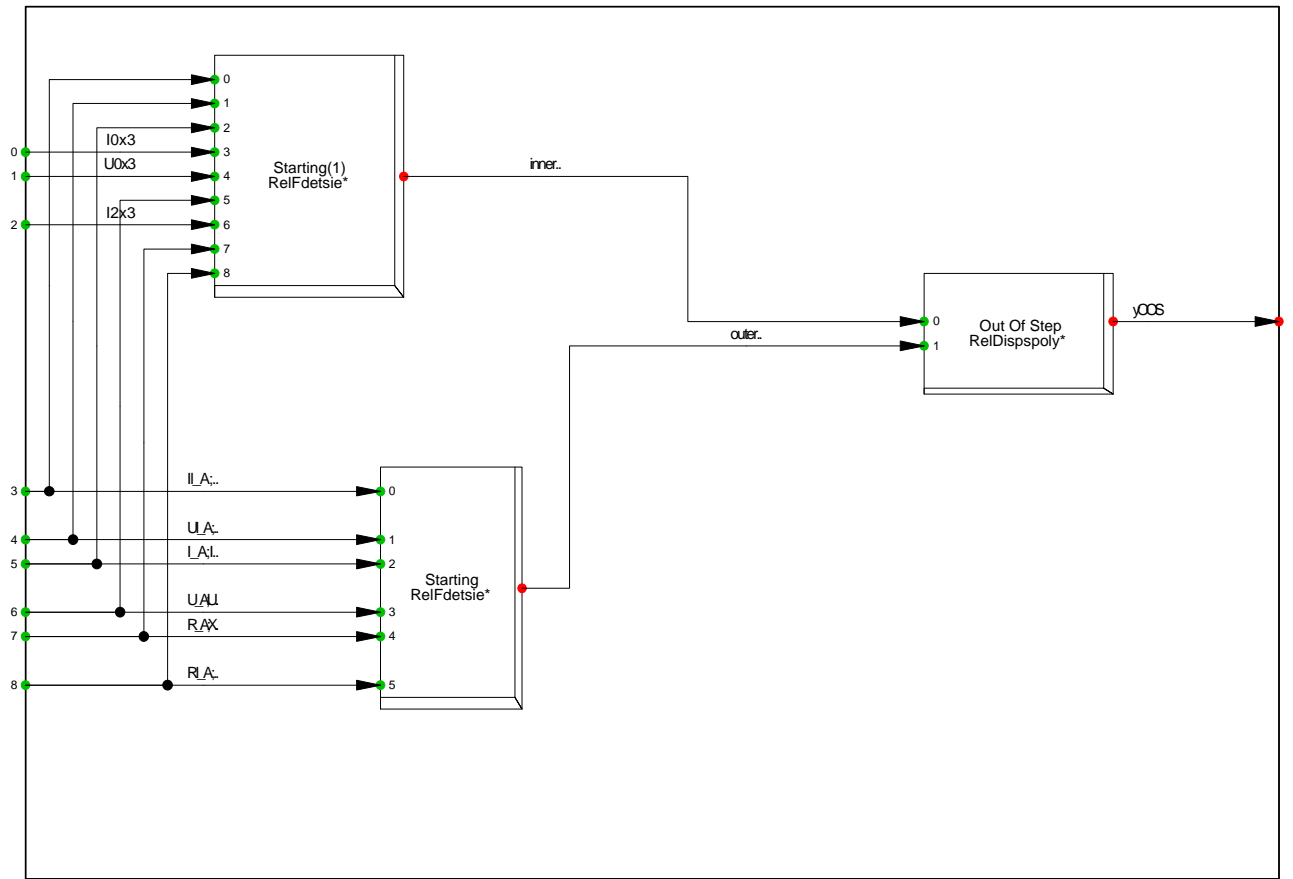


# IRV G Frequency:

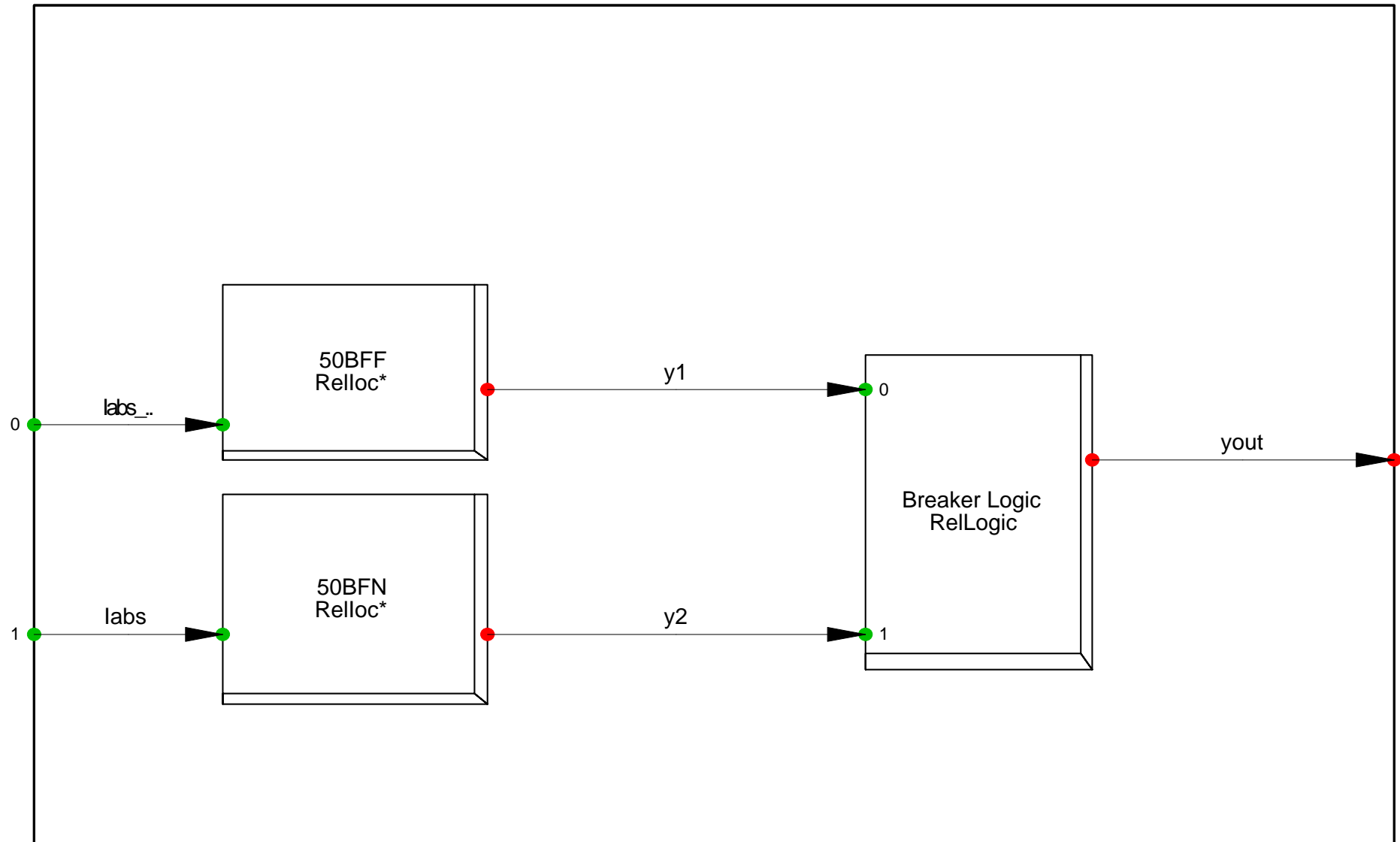


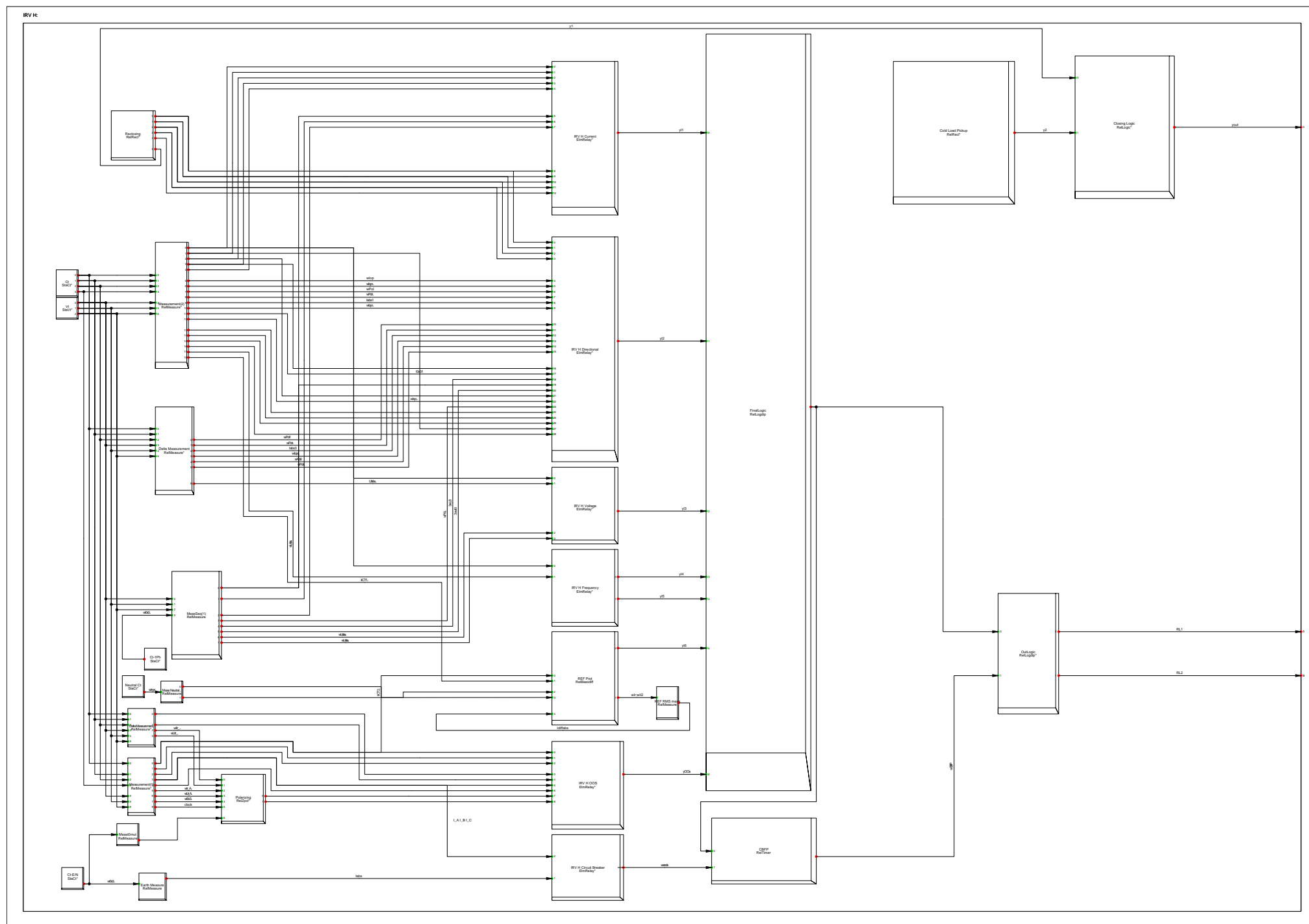


OOS G:

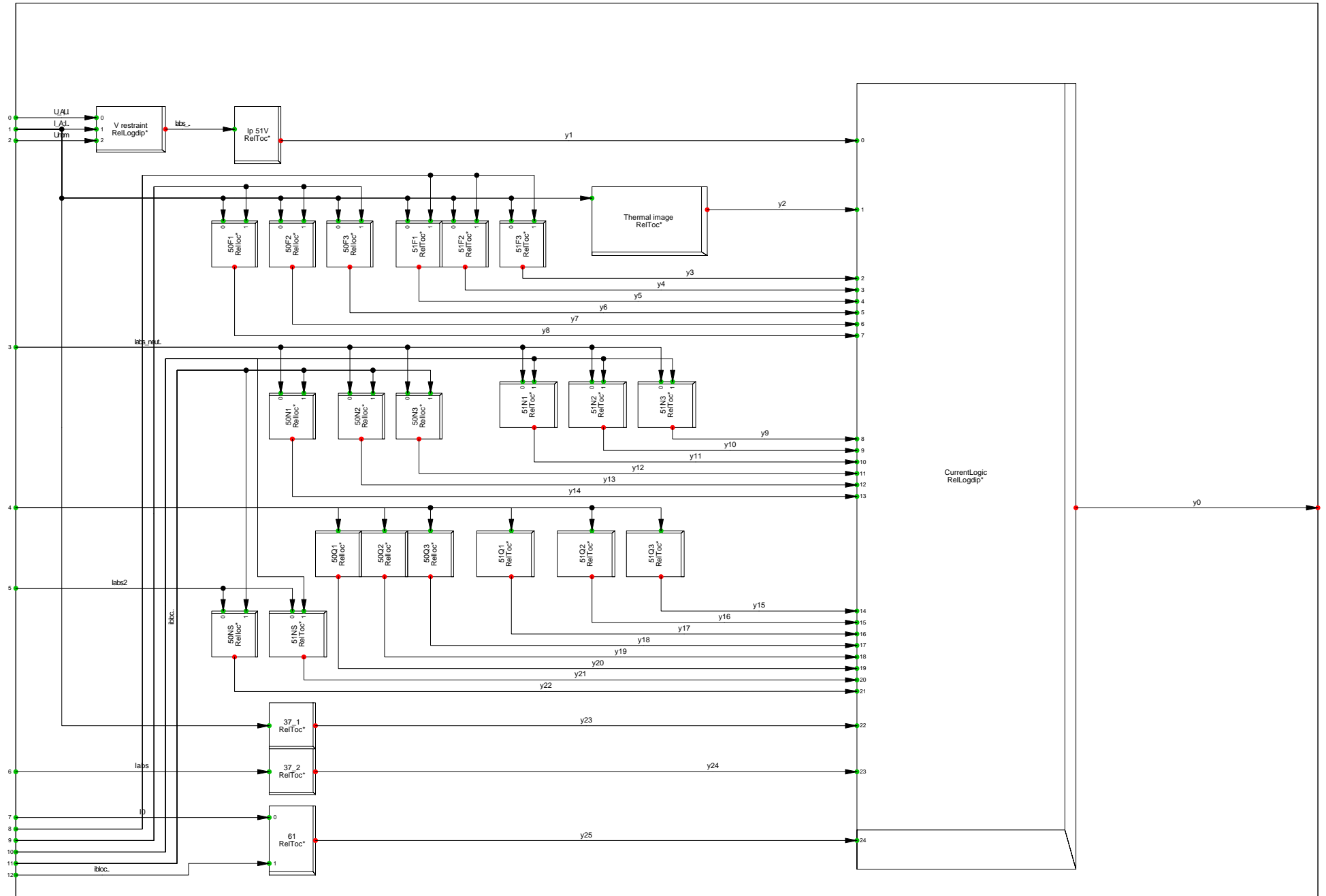


## IRV G Breaker:

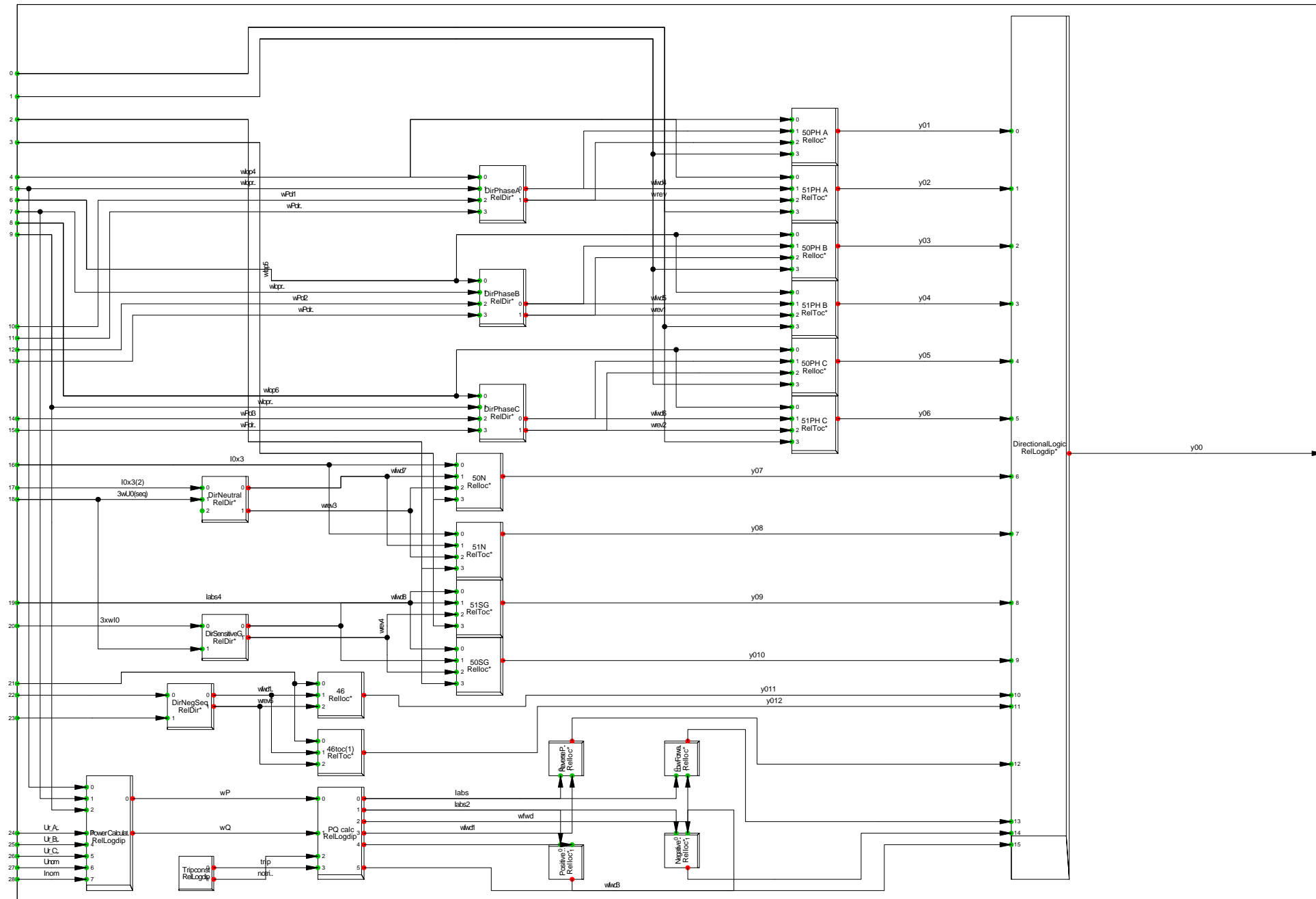




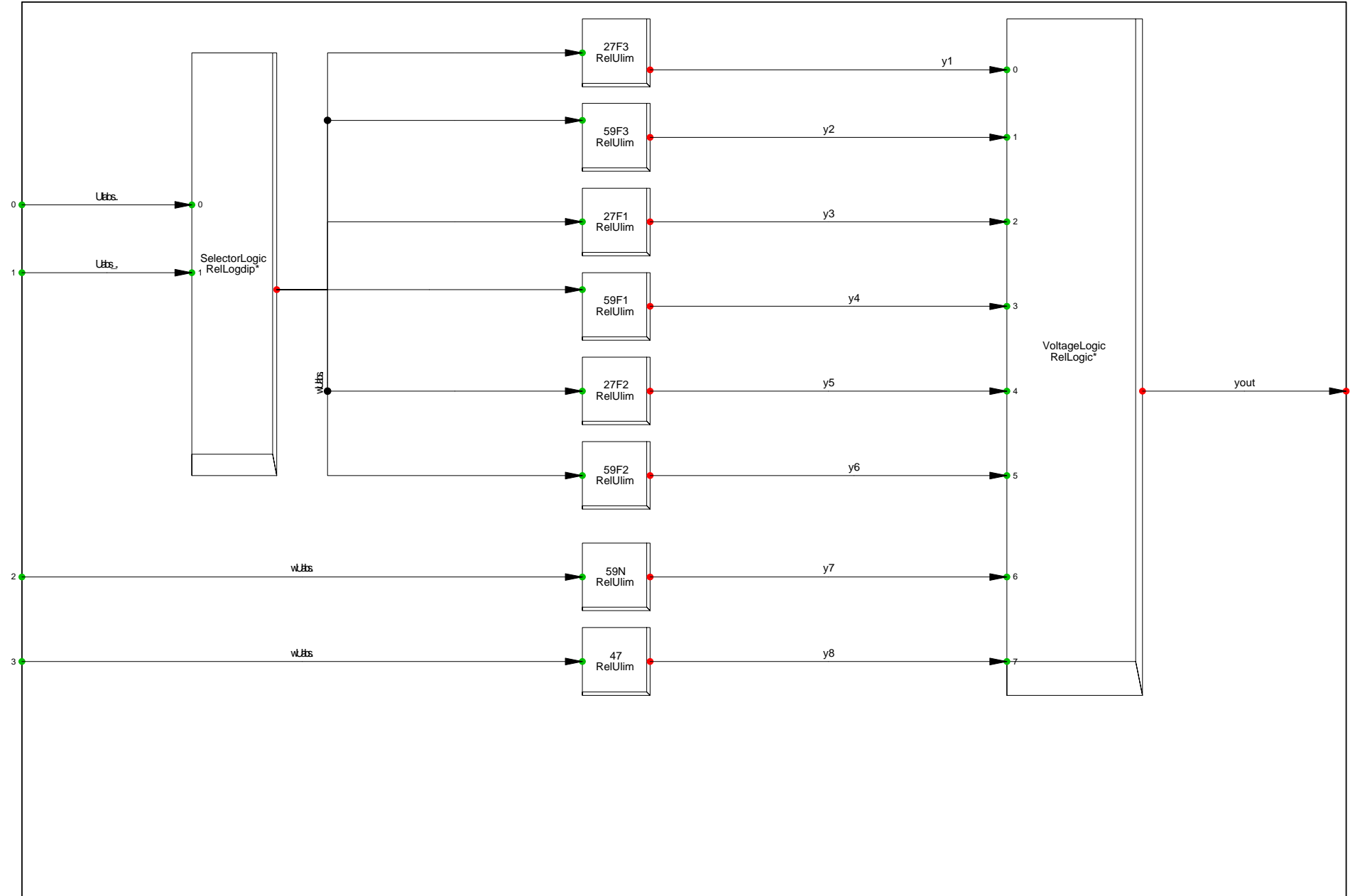
# IRV H Current:



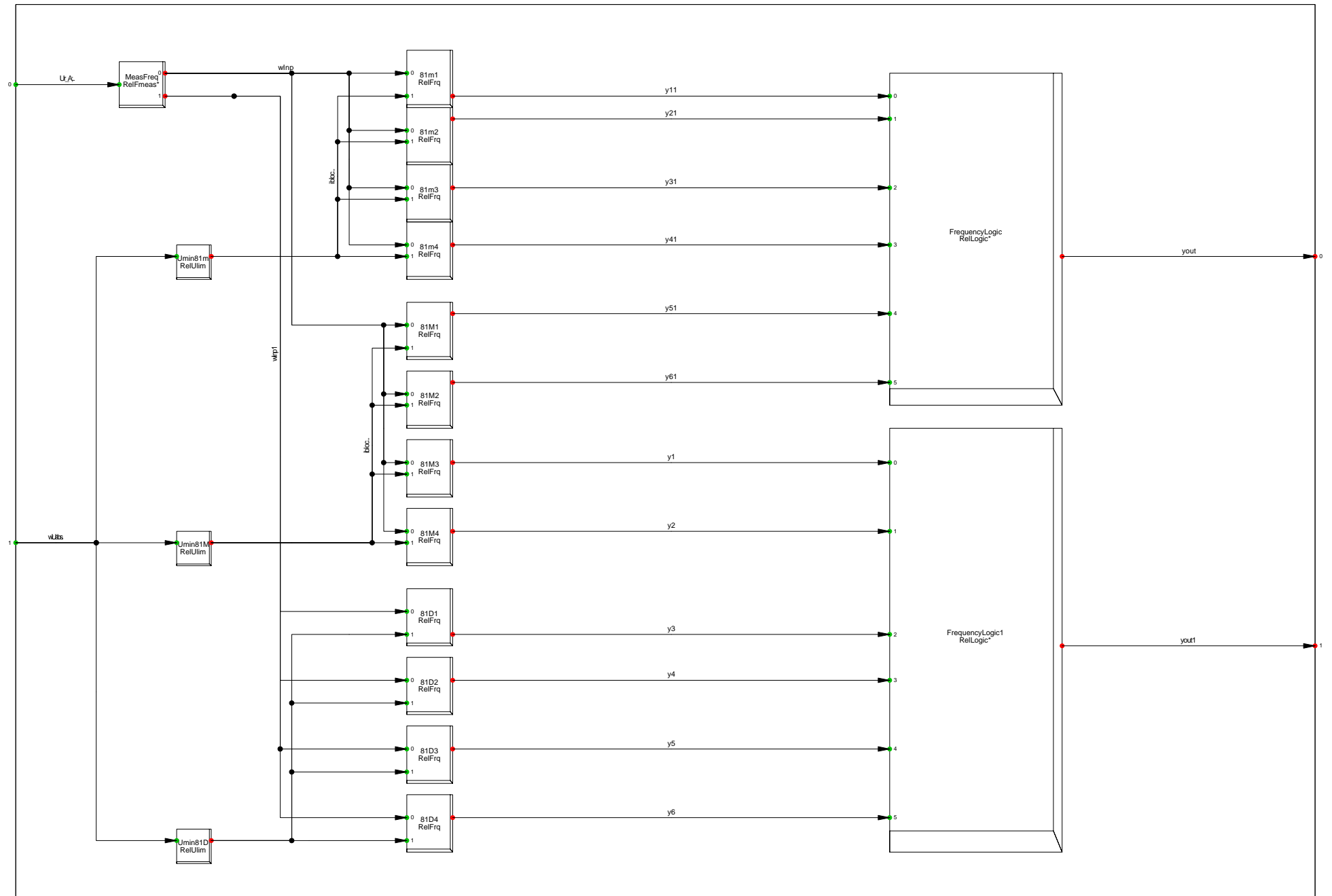
IRV H Directional:



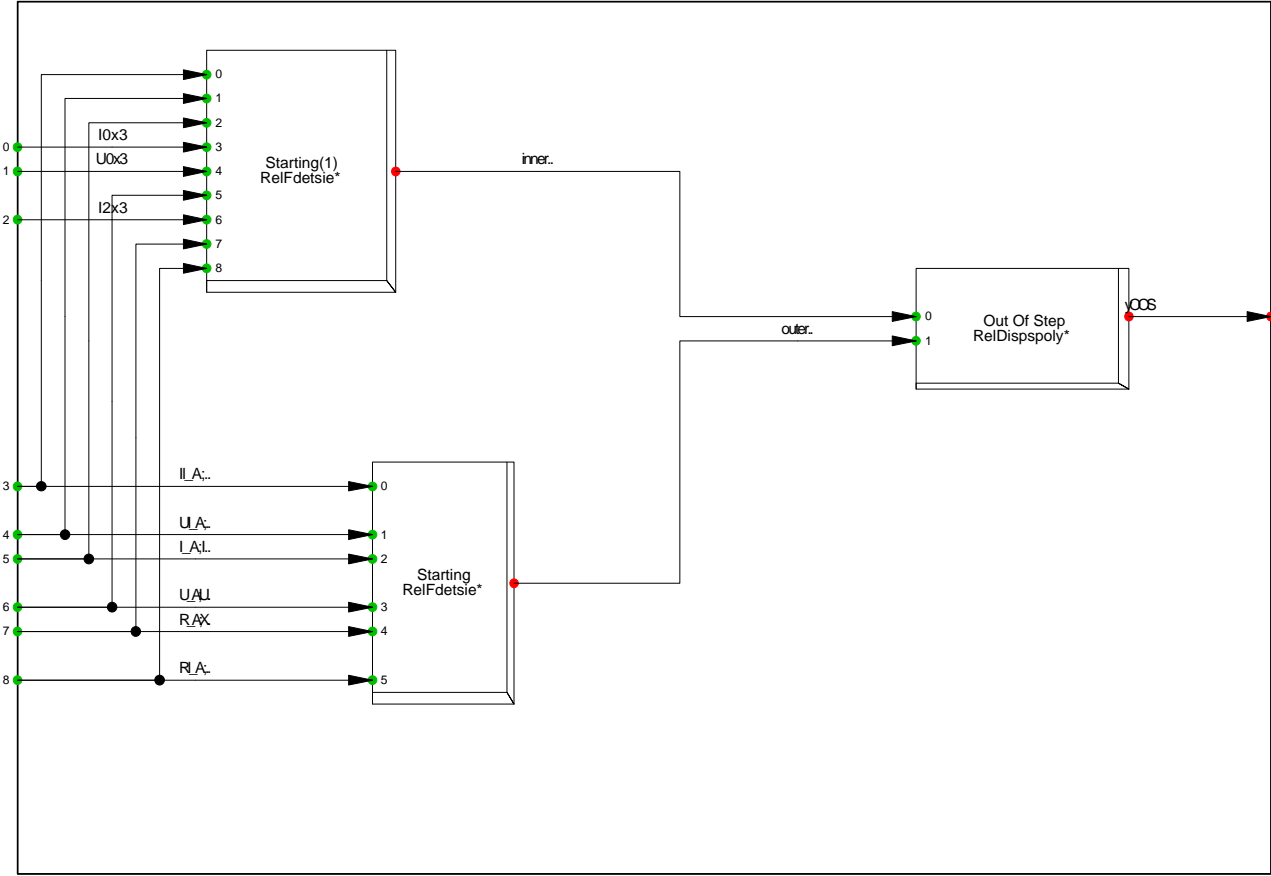
IRV H voltage:



# IRV H Frequency:

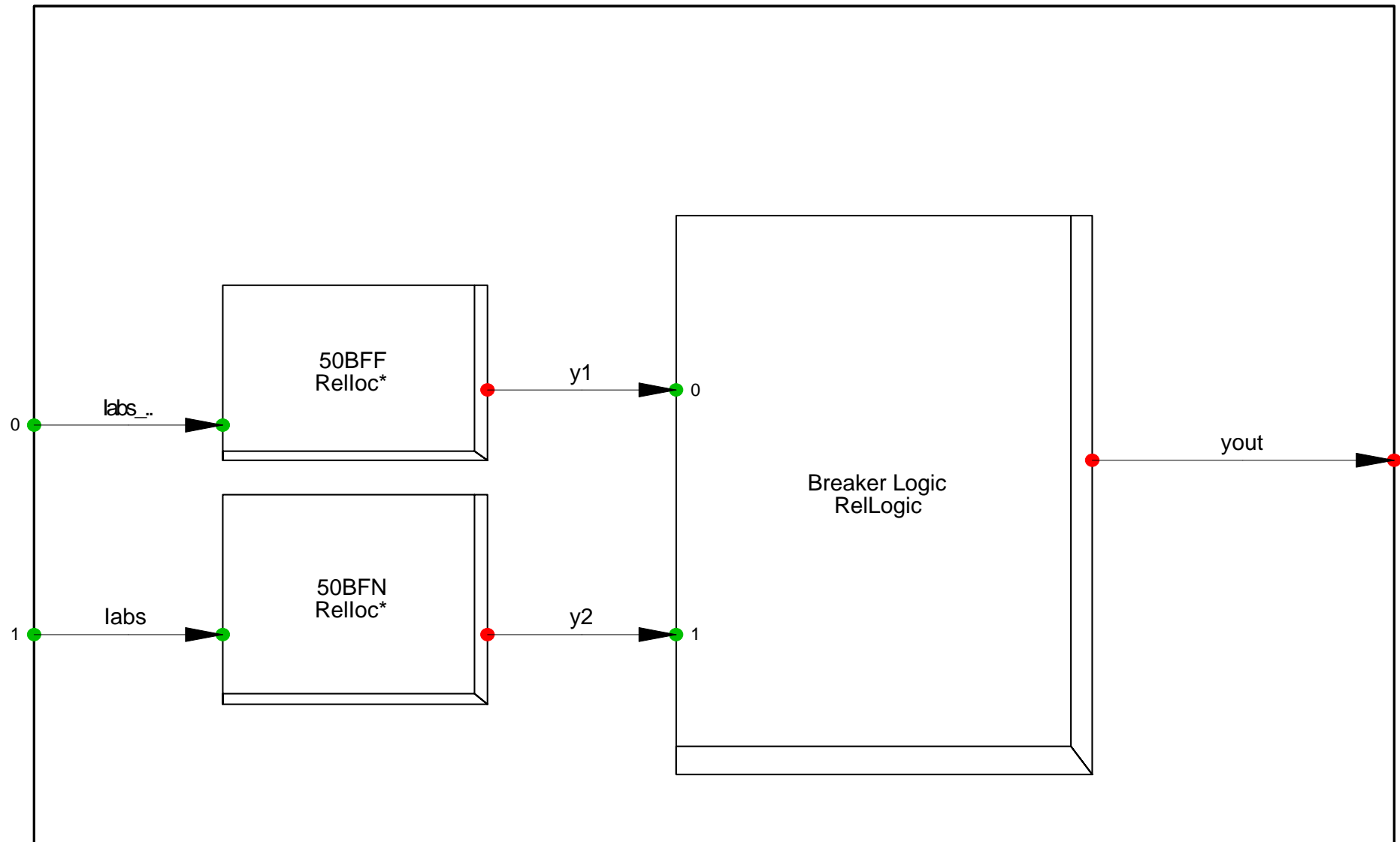


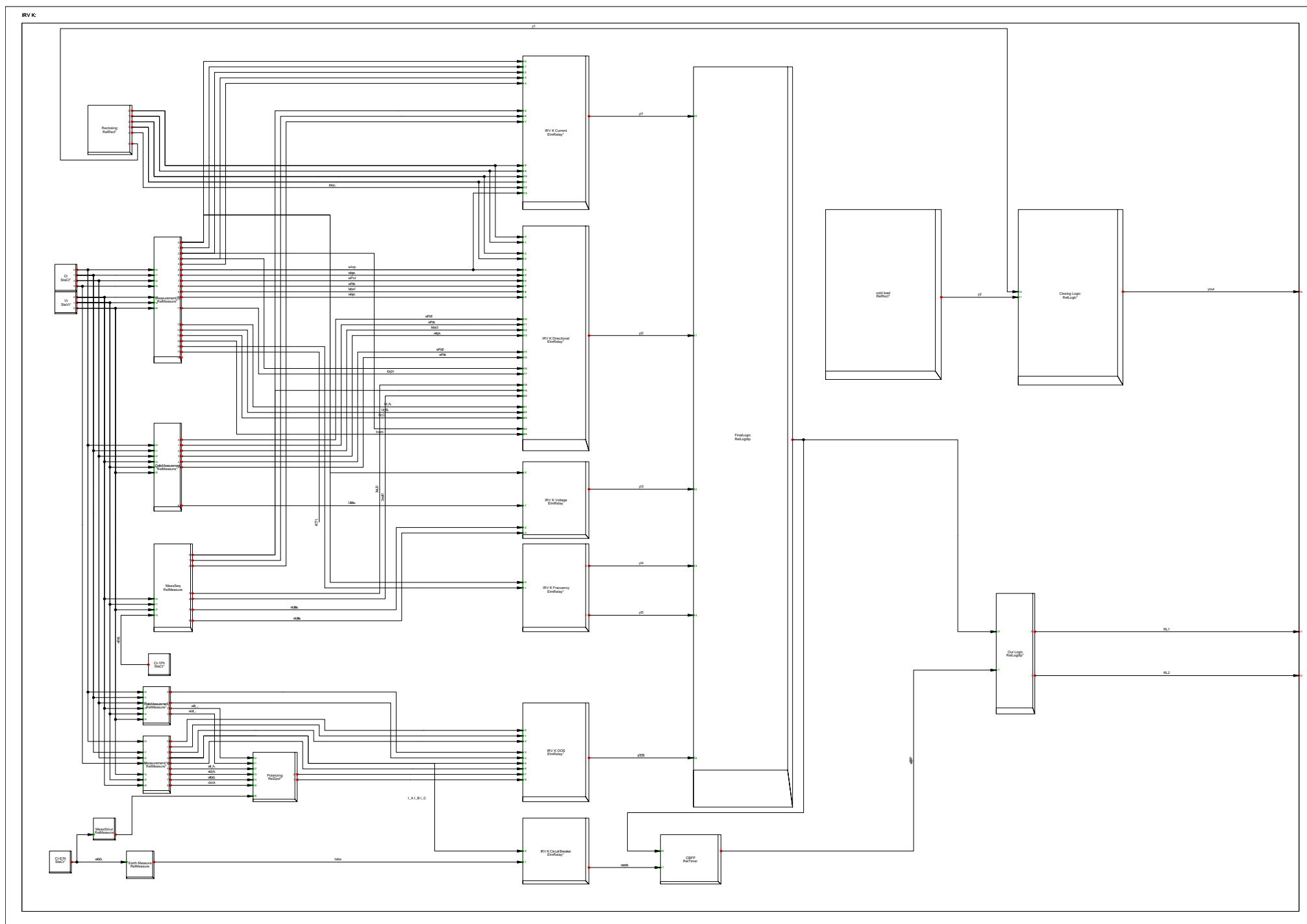
OOS H:

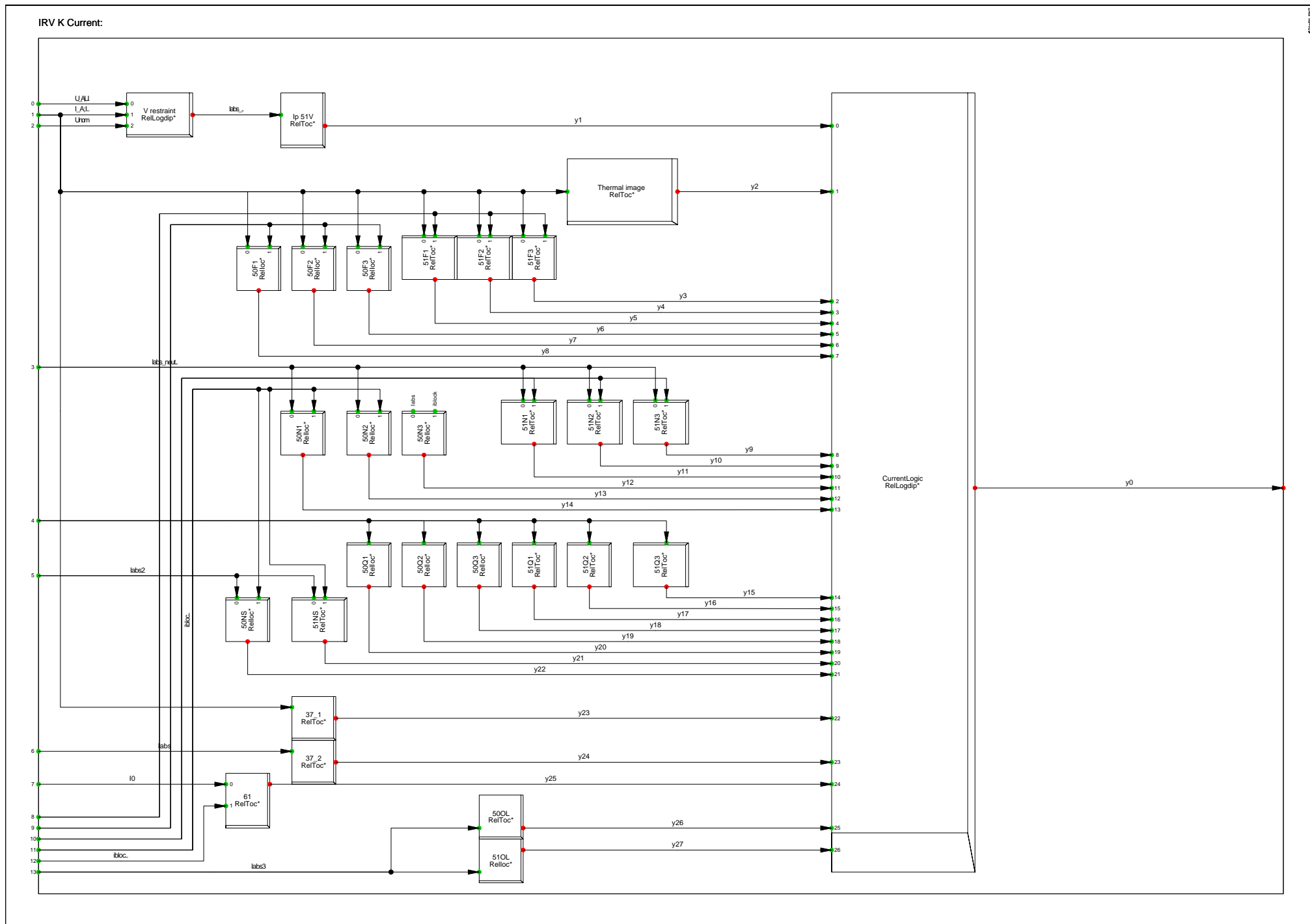




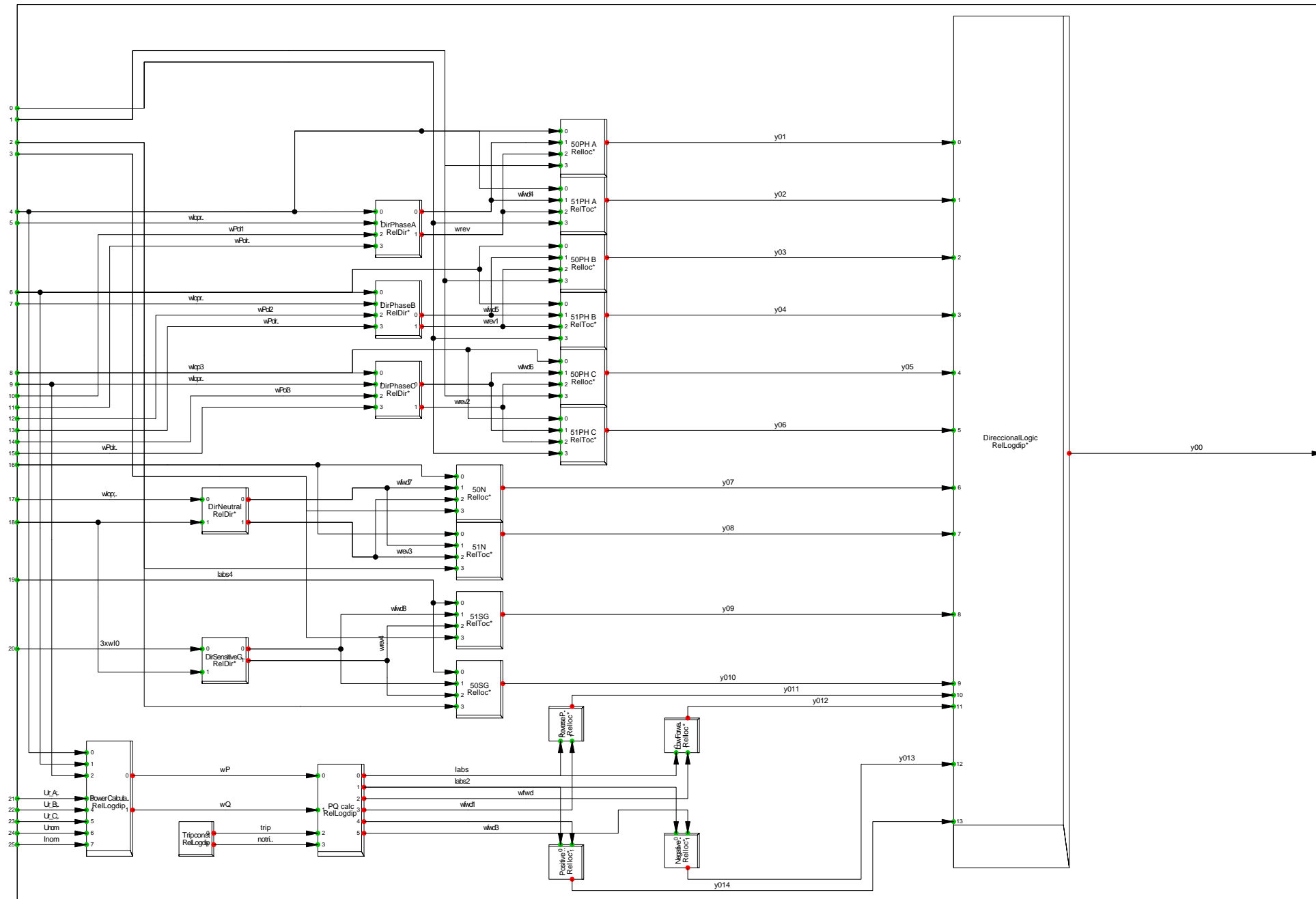
## IRV H Breaker:



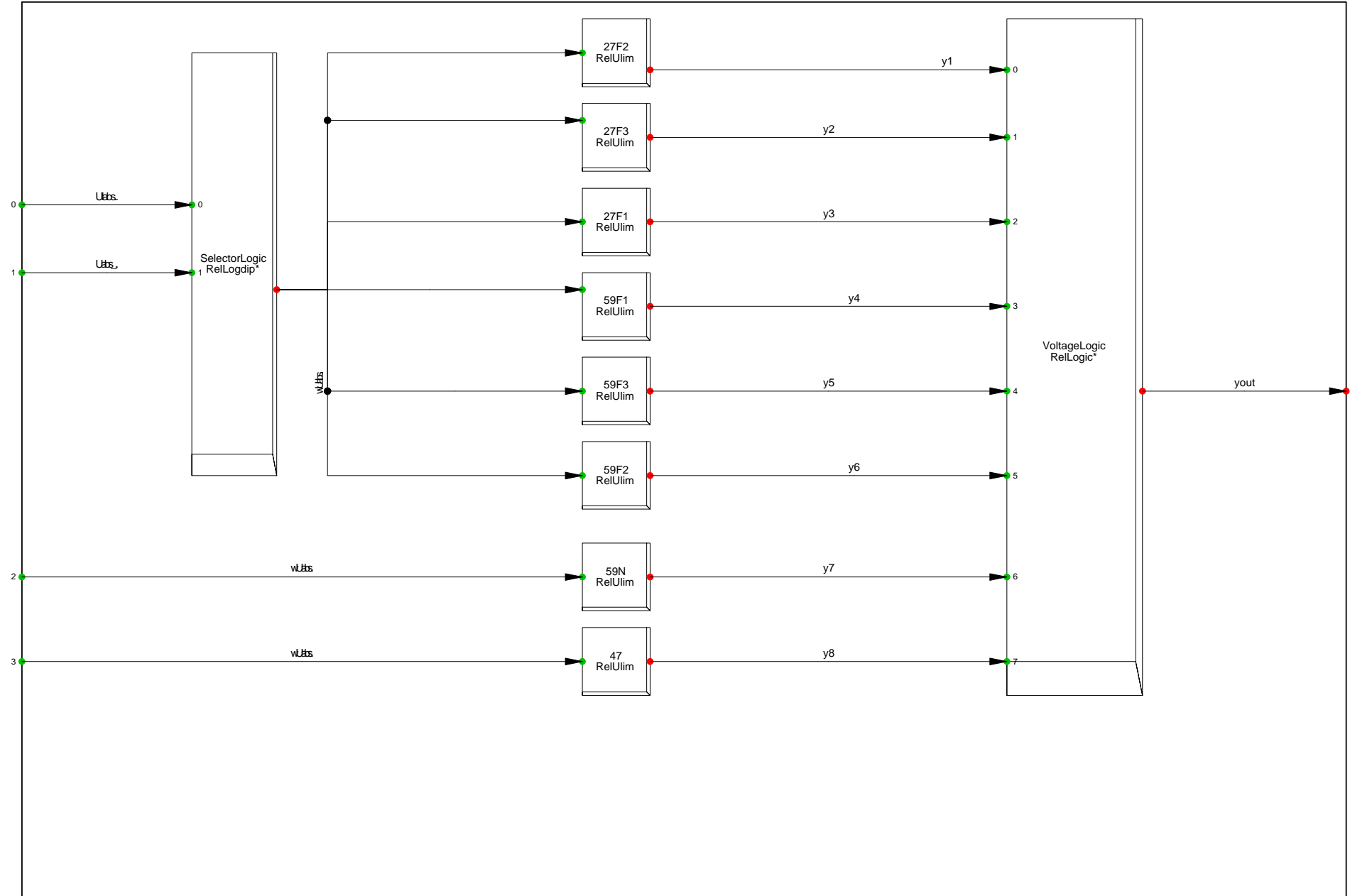




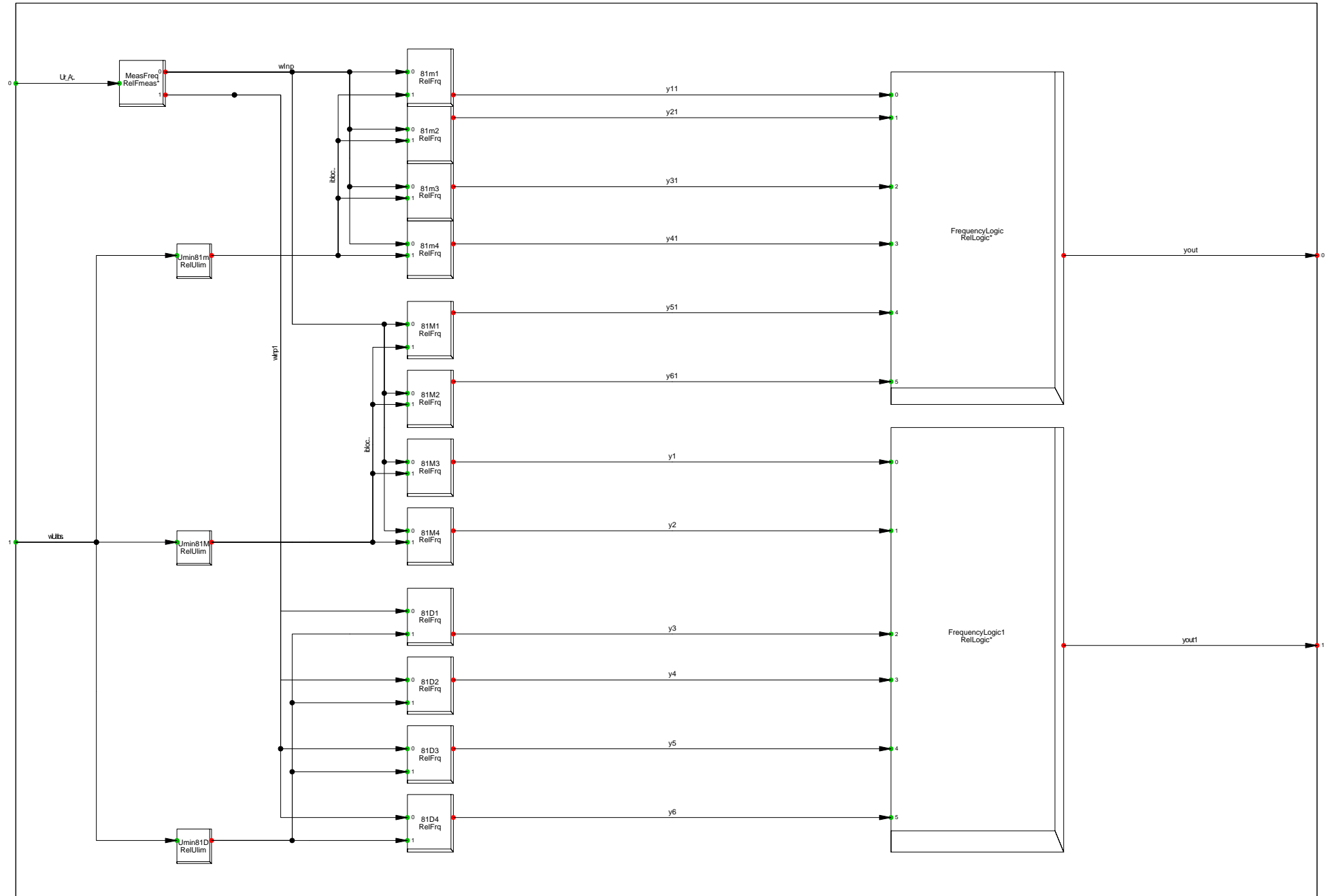
IRV K Directional:



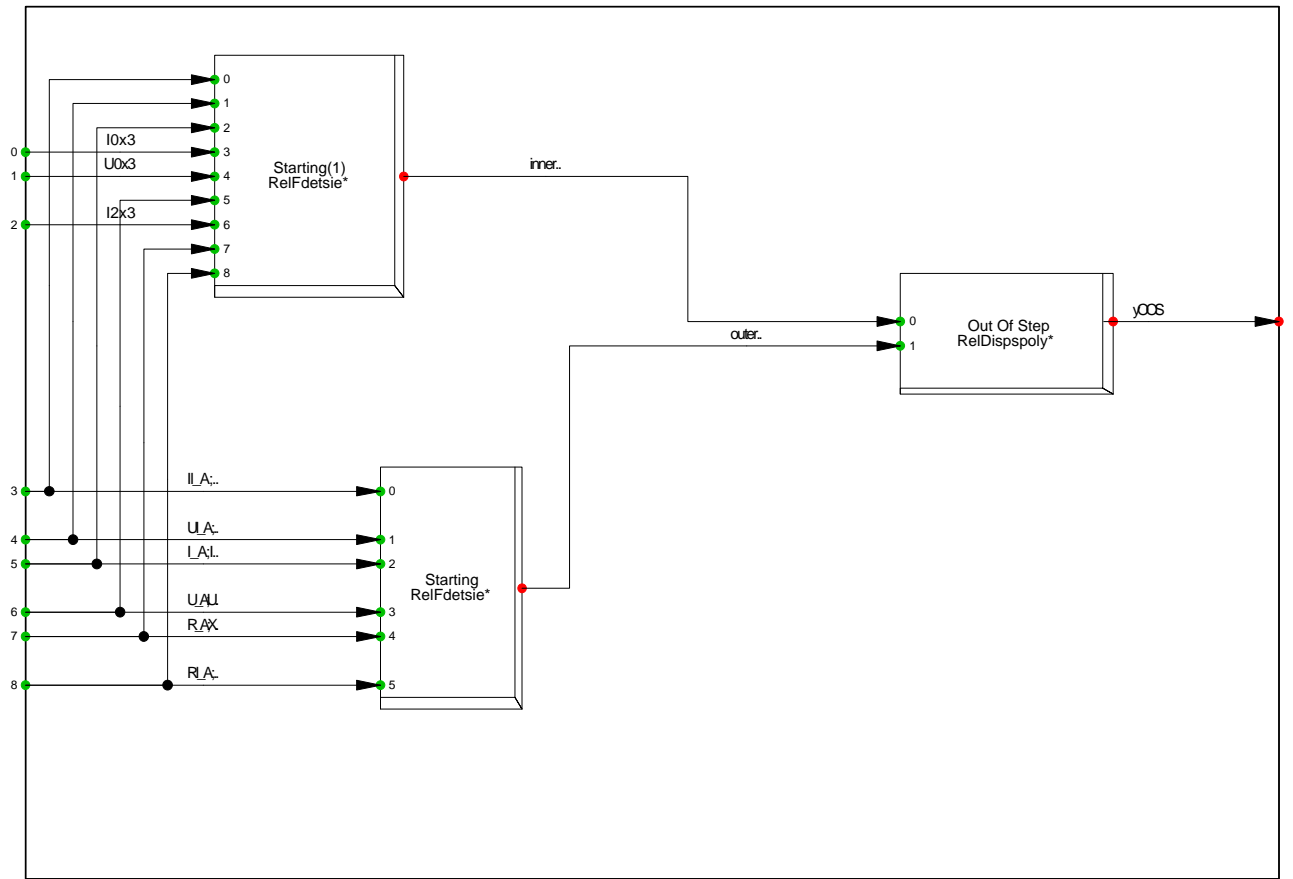
IRV K voltage:



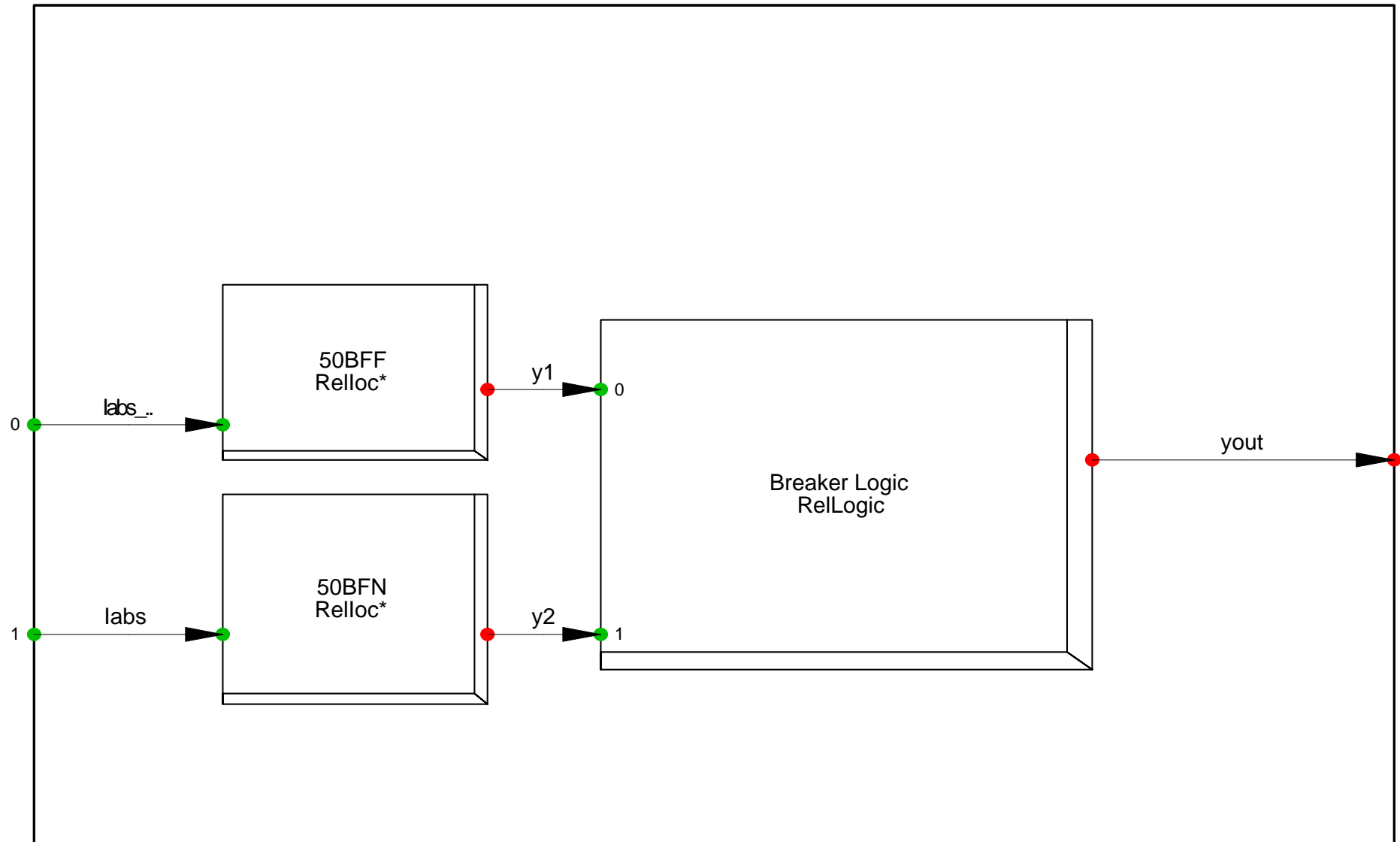
# IRV K Frequency:



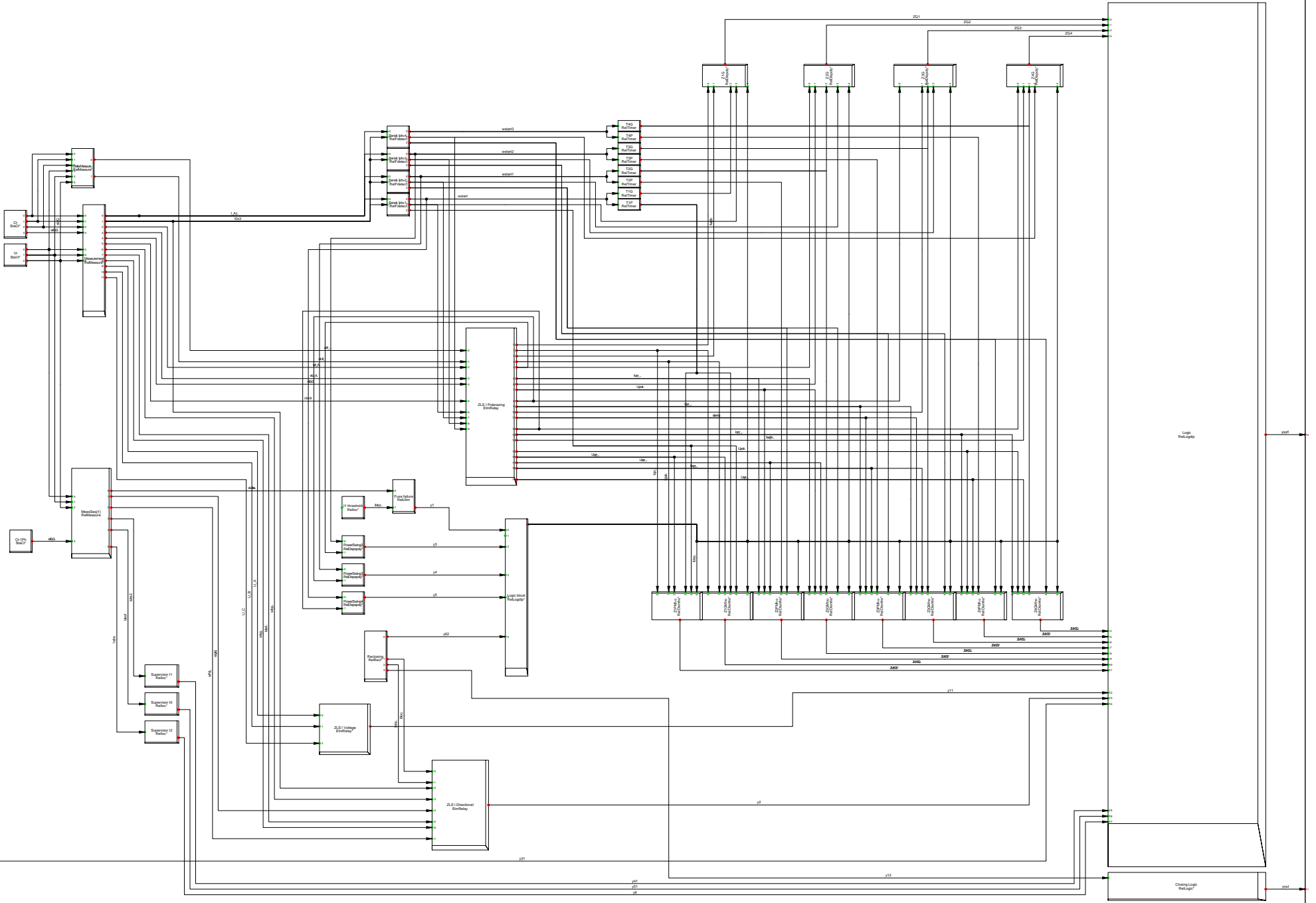
OOS K:



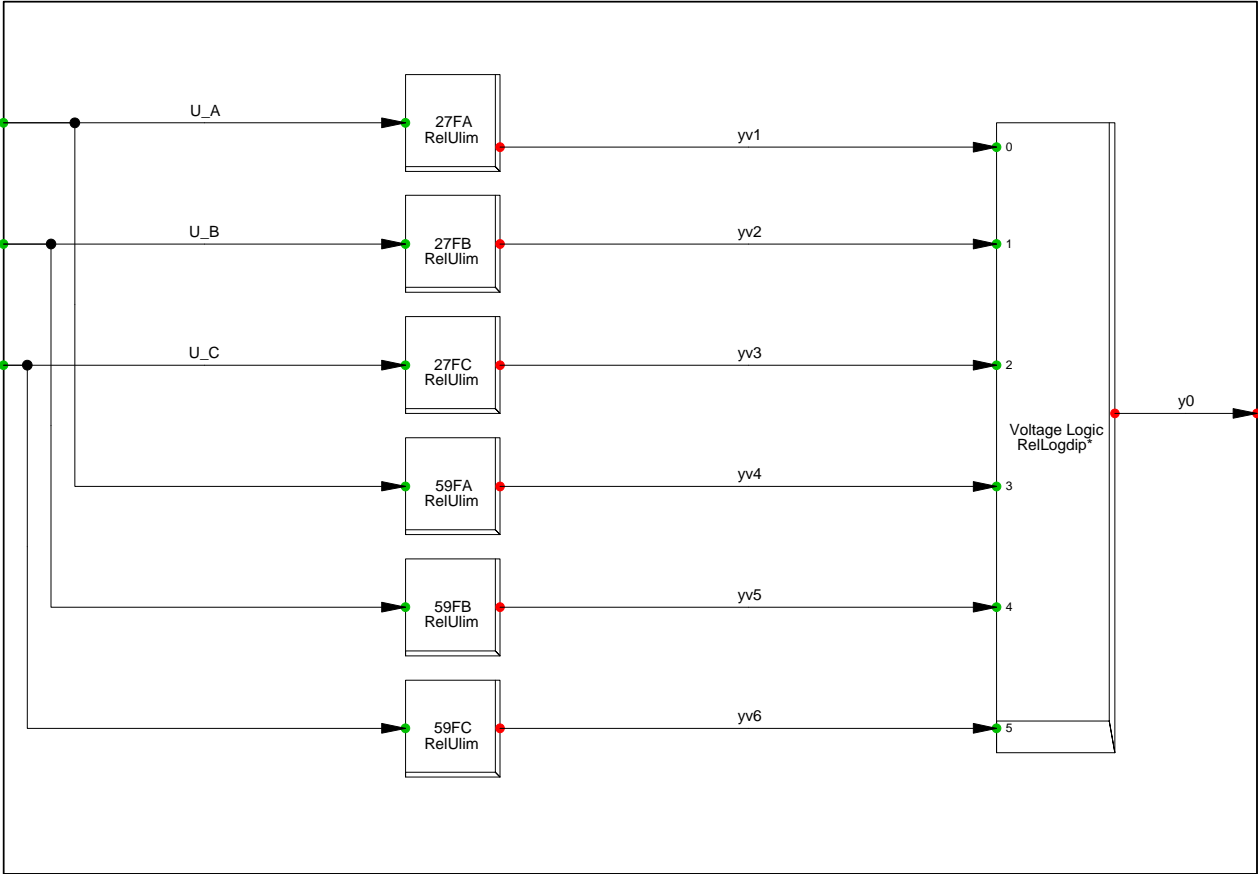
## IRV K Breaker:



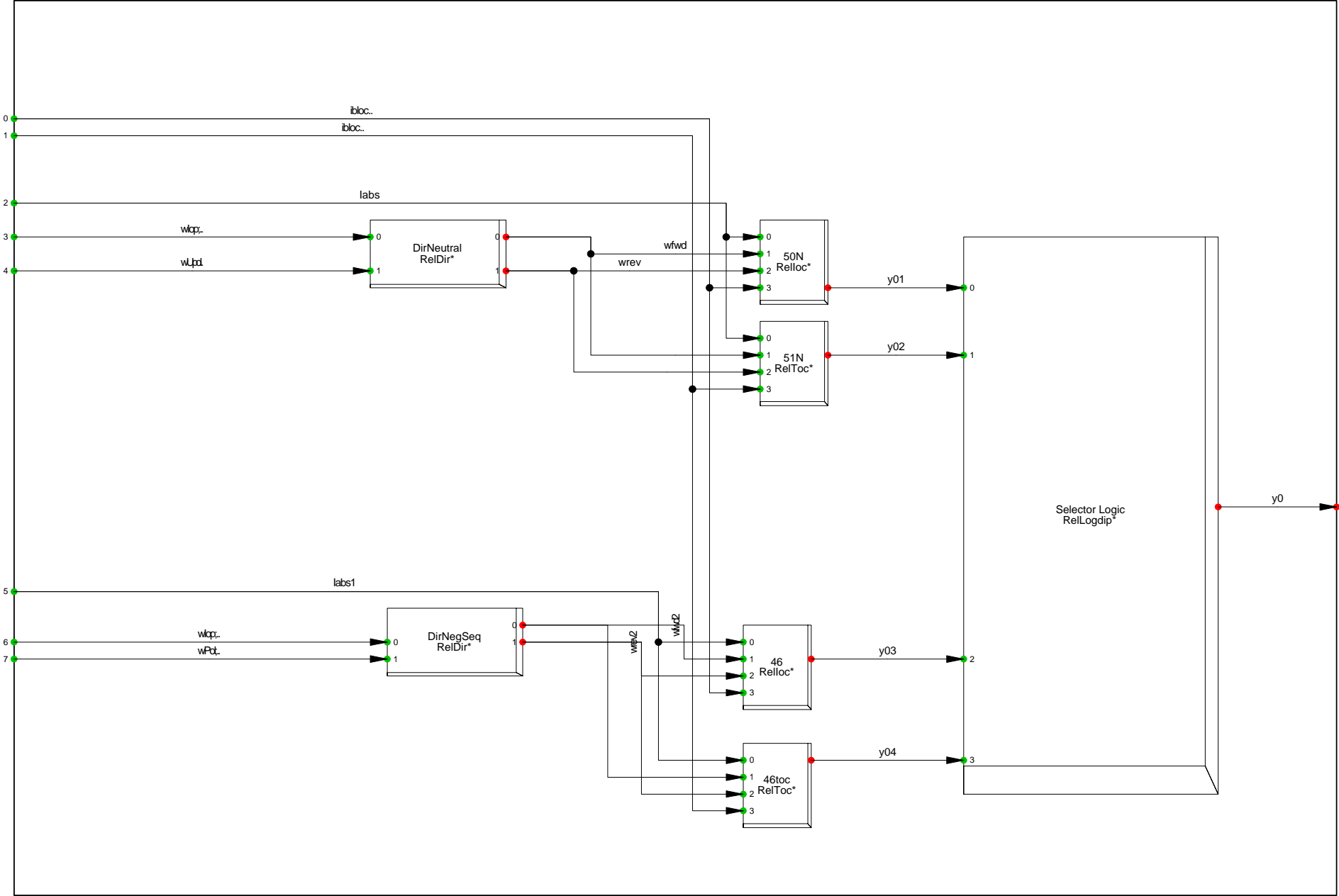


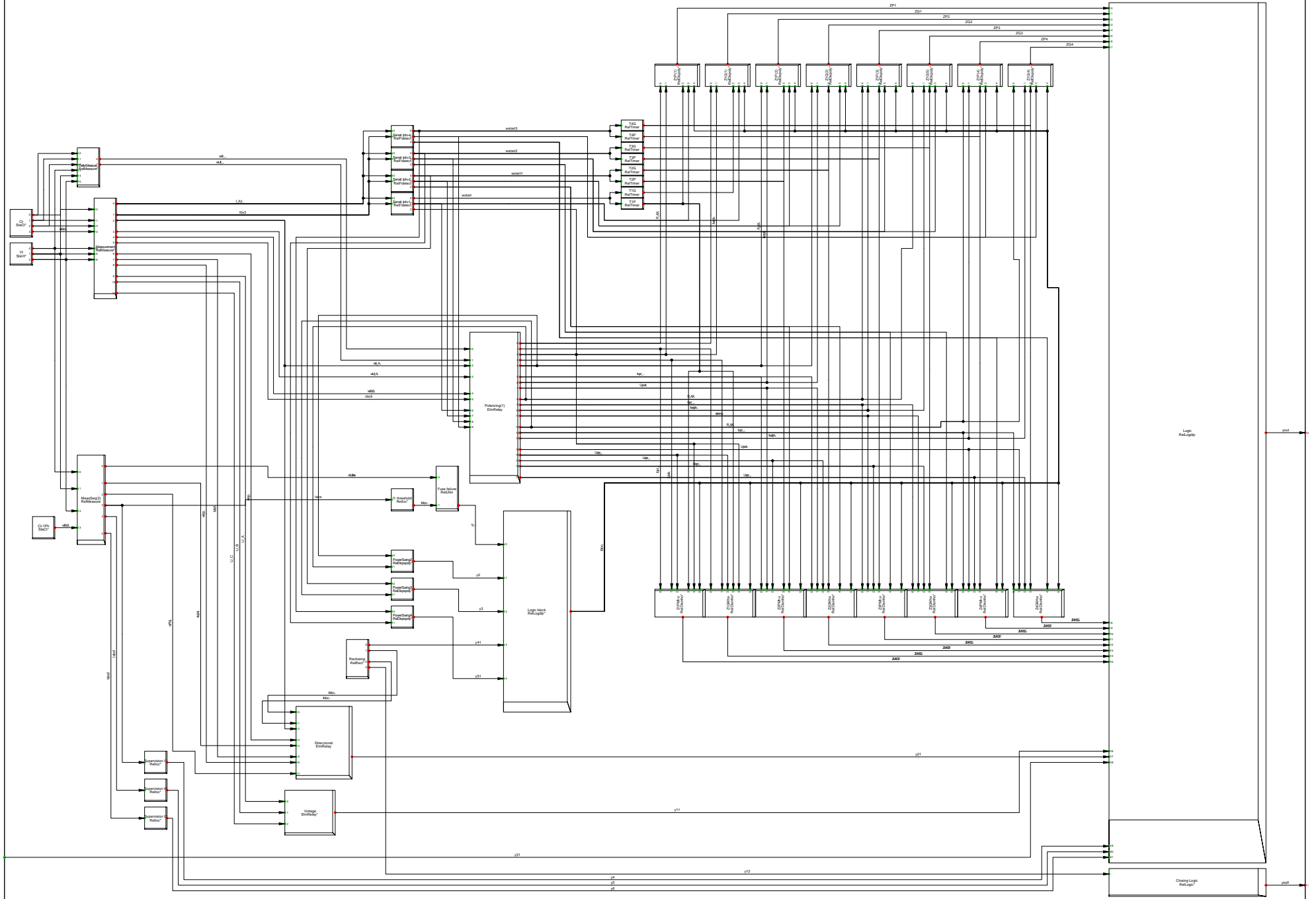


ZLS I Voltage:

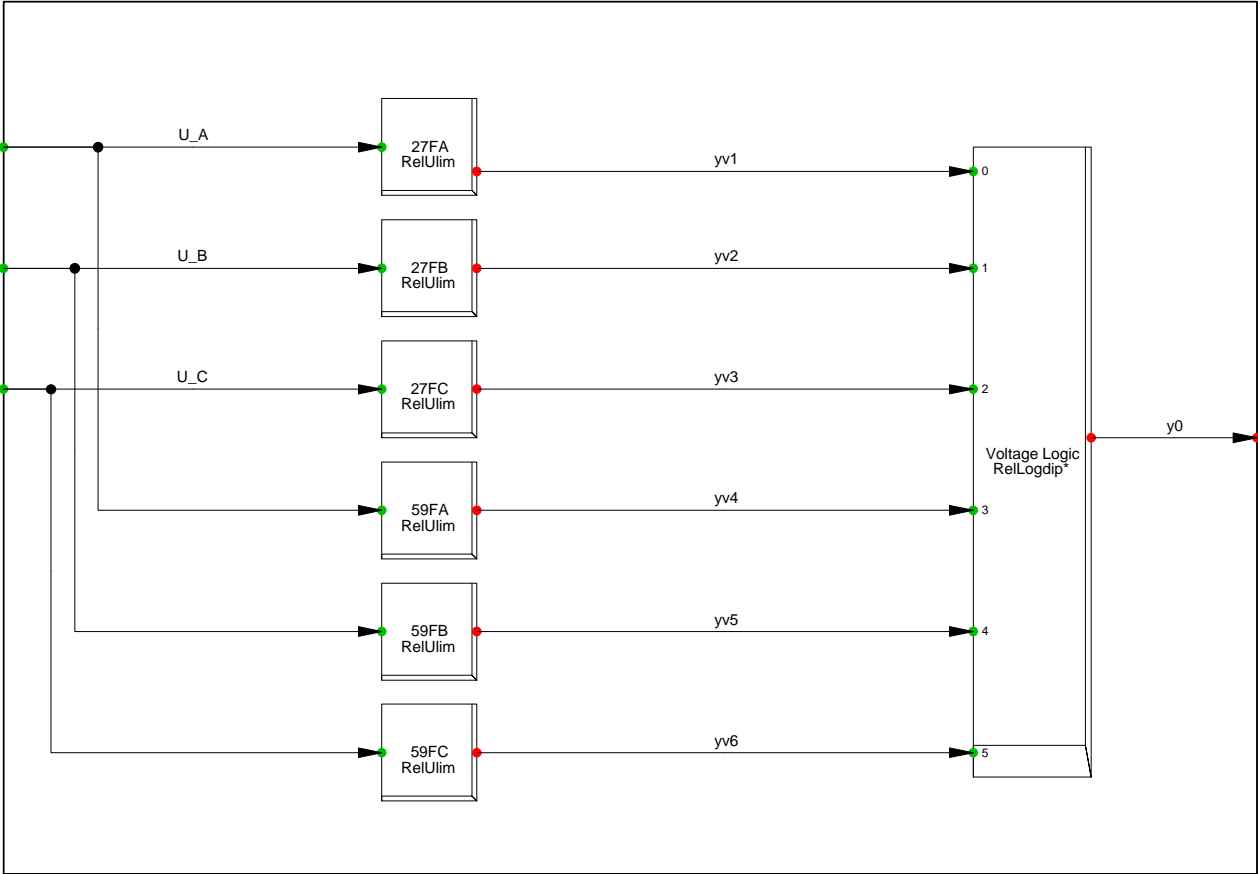


ZLS I Directional:

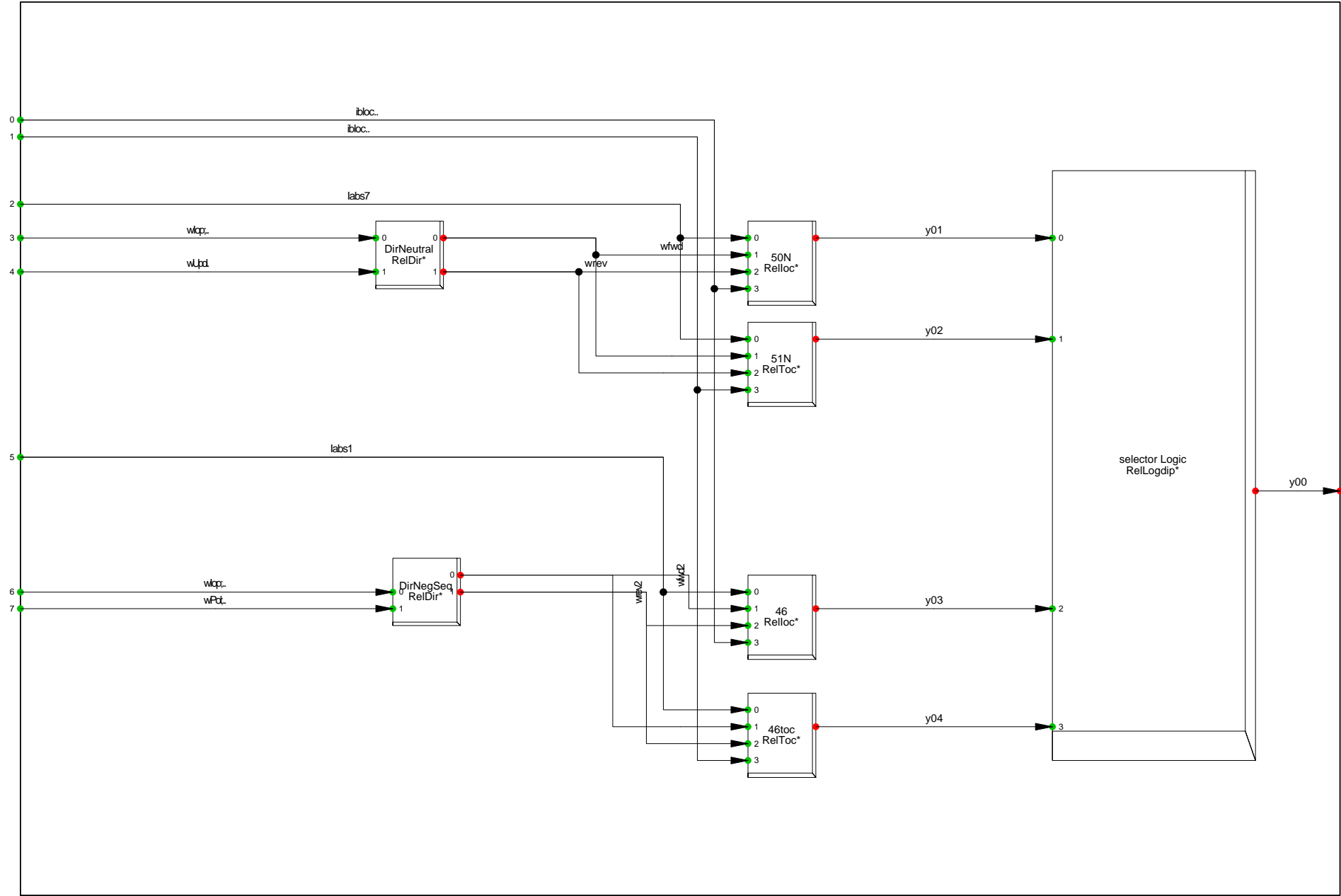


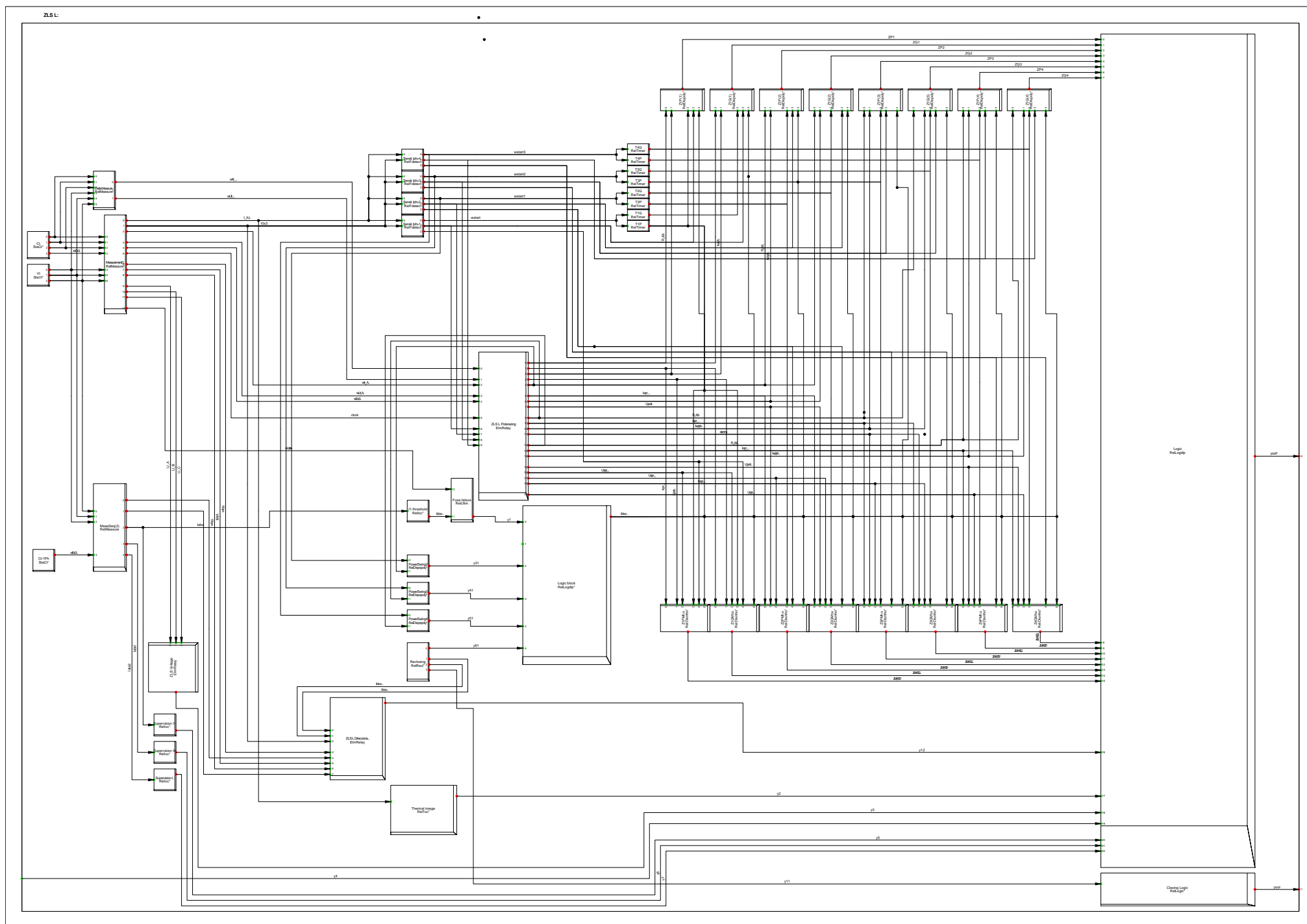


ZLS J Voltage:

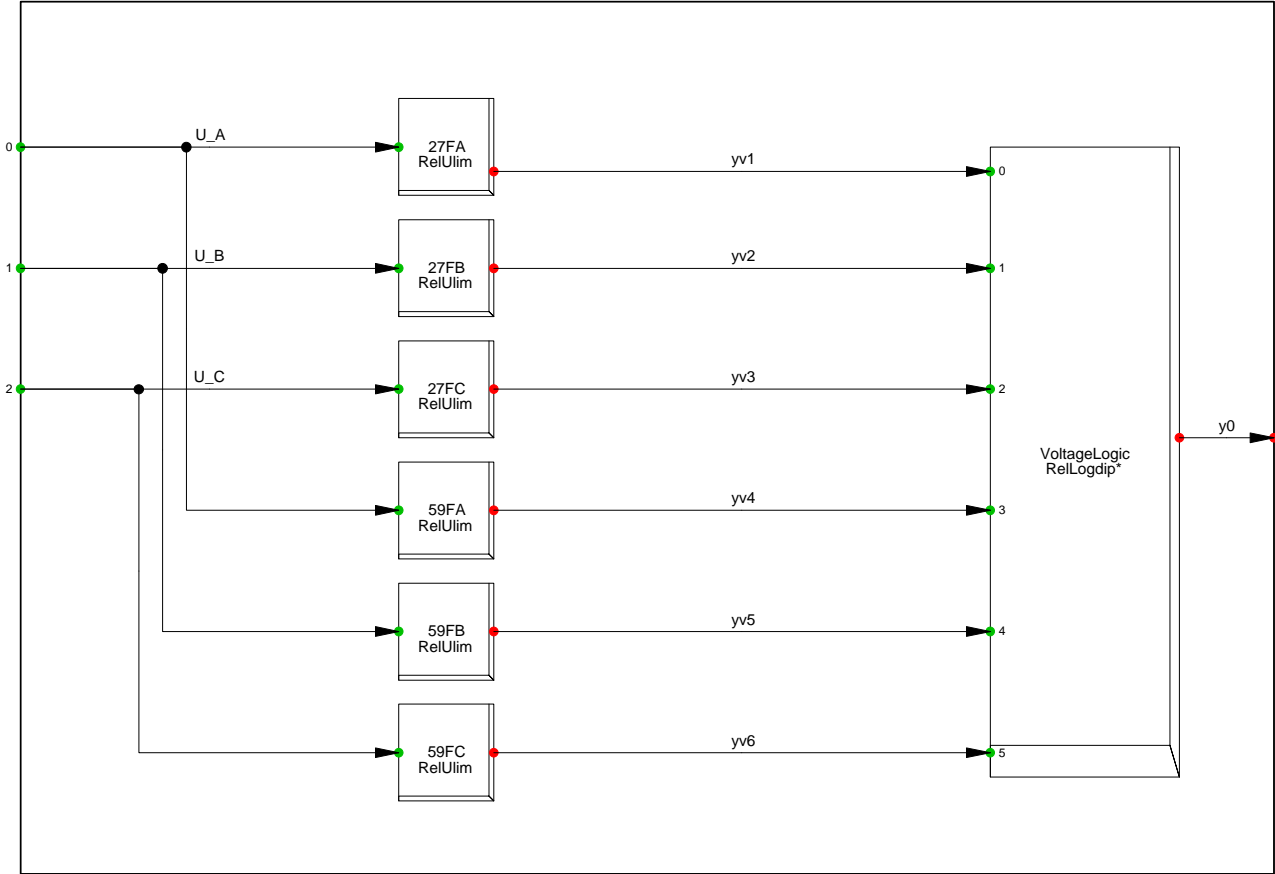


ZLS J Direccional:





ZLS L Voltage:





ZLS L Direccional:

